



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN

PROYECTO DE MATERIA INTEGRADORA

**MANUAL DE DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO
CONSIDERANDO CRITERIOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Presentado por:
Julio César Chávez Santana
Kevin Stevens Garcia Soledispa

Previo a la obtención del título de
Ingeniero en Electricidad

Supervisado por:
PhD. Renán Xavier Zambrano Aragundy

Año
2019

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente trabajo y la culminación de mi carrera a toda mi familia que durante todos estos años me ha tolerado y han sido para mi un gran apoyo, pero en especial le dedico todo esto a mi padre, Julio Chávez Orozco quien ha sido, es y será el pilar fundamental en mi vida que siempre me ha apoyado en todo, me ha inculcado ser una persona de bien y solo me queda decir que lo admiro demasiado.

Julio César Chávez Santana

Este proyecto está dedicado a mi familia quienes me apoyaron de diversas maneras a lo largo de mi vida, en especial a la memoria de mi tía quien fue un pilar fundamental en mi infancia guiándome y enseñándome desde la escuela hasta los primeros años de educación secundaria, inculcándome la perseverancia y paciencia.

A mis padres quienes siempre confiaron en mí y me brindaron todas las facilidades para que pueda culminar mis estudios, ellos me enseñaron a ser una persona que se esfuerce por cumplir sus metas de la manera correcta, gracias Víctor García Baquerizo y Mónica

Soledispa España.

Kevin Stevens García Soledispa

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a los ingenieros Macías, Menéndez y Cume, por la atención brindada en sus oficinas, su colaboración con información y datos técnicos para nuestro proyecto y en general a CNEL EP Guayaquil división de alumbrado público. También un especial agradecimiento a nuestro tutor el PhD Xavier Zambrano por su tiempo, dedicación, consejos y gestiones que siempre estuvo realizando para la culminación de esta tesis.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Julio César Chavez Santana y Kevin Stevens Garcia Soledispa damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Julio César Chávez Santana

Kevin Stevens Garcia Soledispa

EVALUADORES

Msc. Fernando Vaca Urbano
Profesor de la materia

PhD. Xavier Zambrano Aragundy
Profesor tutor

Índice general

Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XI
Acrónimos	XIII
1. PLANTEAMIENTO Y ESTRUCTURA DE LA TESIS	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo general	1
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Justificación del problema	2
1.4. Estructura de la tesis	2
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Tipos de lámparas según su forma de reproducir luz	4
2.1.1. La termorradiación	4
2.1.2. La luminiscencia	5
2.1.3. Lámparas LED	7
2.1.4. Lámparas de descarga de vapor de mercurio de baja presión .	7
2.1.5. Lámparas de descarga de alta intensidad (HID)	8
2.2. Luminarias de alumbrado público	9
2.2.1. Partes de la luminaria	9
2.3. Disposición de las luminarias en las vías	10
2.4. Parámetros de diseño del alumbrado público	13
2.4.1. Parámetros fotométricos	13
2.5. Normativa nacional de alumbrado público	18
2.6. Instrucciones técnicas complementarias	20
2.6.1. Eficiencia energética	20
2.6.2. Niveles de iluminación	23
2.6.3. Mantenimiento eficiente de las instalaciones	23
2.7. Prácticas de eficiencia energética en alumbrado público	24
2.8. Características del alumbrado público en CNEL EP Guayaquil	26
2.9. Gestión del alumbrado público	27

2.9.1. Comunicación en un sistema de telegestión	29
2.10. Eficiencia energética	30
2.11. Simulador DIALux	32
2.11.1. Descripción del programa	32
3. METODOLOGÍA	34
3.1. Ejemplo aplicado	35
3.1.1. Características de la avenida	35
3.1.2. Estudio luminotécnico de la avenida Agustín Freire	37
3.1.3. Cálculo de eficiencia energética	40
3.1.4. Clasificación energética de la instalación	41
4. CASOS DE ESTUDIO	43
4.1. Caso 1: Iluminación en calle secundaria	43
4.1.1. Características generales de la vía	43
4.1.2. Estudio luminotécnico de la calle secundaria	45
4.1.3. Cálculo de eficiencia energética de la instalación	47
4.1.4. Clasificación energética de la instalación	48
4.2. Caso 2: Iluminación en avenida	49
4.2.1. Características generales de la vía	49
4.2.2. Estudio luminotécnico de la avenida	51
4.2.3. Cálculo de eficiencia energética de la instalación	54
4.2.4. Clasificación energética de la instalación	55
4.3. Caso 3: Iluminación en vía perimetral	55
4.3.1. Características generales de la vía	55
4.3.2. Estudio luminotécnico de vía perimetral	57
4.3.3. Cálculo de eficiencia energética de la instalación	60
4.3.4. Clasificación energética de la instalación	61
5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	62
5.1. Conclusiones	62
5.2. Trabajos futuros	63
5.3. Cronograma de actividades	63
Bibliografía	64
Apéndice	65
A. Clases de alumbrado e iluminación para vías (ITC-02)	65
B. Niveles de iluminación de las vías (ITC-02)	68
C. Preguntas realizadas a CNEL EP-Guayaquil	70

Índice de figuras

2.1. Comparación luz día - incandescencia.	5
2.2. Relación luz - temperatura.	5
2.3. Comparación luz día – luminiscencia.	6
2.4. Balance energético de una lámpara fluorescente.	7
2.5. Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión.	8
2.6. Componentes de la luminaria.	9
2.7. Disposición de luminarias para tramos con una calzada.	10
2.8. Disposición de luminarias para tramos con varias calzadas.	11
2.9. Disposición de luminarias para paso de peatones.	12
2.10. Disposición de luminarias para tramos curvos.	12
2.11. Calificación energética de una instalación de alumbrado.	22
2.12. Evolución del consumo de energía por sectores.	24
2.13. Energía total evitada por implementación del PLANEE.	25
2.14. Sistema de gestión inteligente.	28
2.15. Comunicación mediante PLC.	29
2.16. Modelo de comunicación inalámbrica.	30
2.17. Campos de la eficiencia energética.	31
2.18. DIALux	32
2.19. Catálogo de DIALux.	33
3.1. Localización de la avenida Agustín Freire.	35
3.2. Recreación de la avenida Agustín Freire.	35
3.3. Distribución de postes de la avenida Agustín Freire.	36
3.4. Simulación de la avenida Agustín Freire.	38
3.5. Disposición isolux de la avenida Agustín Freire.	38
3.6. Valores de iluminancia de la avenida Agustín Freire.	38
3.7. Diagrama para proceso de análisis luminotécnico y de eficiencia.	39
3.8. Valores de iluminancia mejorada de la avenida Agustín Freire.	40
4.1. Localización de la calle secundaria La A.	43
4.2. Recreación de la calle secundaria La A.	44
4.3. Distribución de postes de la calle secundaria La A.	44
4.4. Simulación de la calle secundaria La A.	46
4.5. Disposición isolux de la calle secundaria La A.	47

4.6. Valores de iluminancia de la calle secundaria La A	47
4.7. Localización de la avenida García Moreno.	49
4.8. Recreación de la avenida García Moreno.	49
4.9. Disposición de postes de la avenida García Moreno.	50
4.10. Simulación de la avenida García Moreno.	52
4.11. Disposición isolux de la avenida García Moreno.	52
4.12. Valores de iluminancia de la avenida García Moreno.	53
4.13. Valores de iluminancia mejorada de la avenida García Moreno.	53
4.14. Localización de la vía Perimetral.	55
4.15. Recreación de la vía Perimetral.	56
4.16. Distribución de postes de la vía Perimetral.	56
4.17. Disposición isolux de la vía Perimetral.	58
4.18. Valores de iluminancia de la vía Perimetral.	59
4.19. Valores de iluminancia mejorada de la vía Perimetral.	59

Índice de tablas

2.1. Relación para selección de luminarias en tramos rectos.	11
2.2. Relación para selección de luminarias en tramos curvos.	13
2.3. Apariencia de color de las lámparas.	14
2.4. Índice de reproducción cromático.	16
2.5. Parámetros para selección de la clase de iluminación (P).	17
2.6. Parámetros para selección de la clase de iluminación (M)	17
2.7. Pliego tarifario de alumbrado público general.	20
2.8. Eficiencia energética mínima según iluminancia.	21
2.9. Valores de eficiencia energética en referencia	21
2.10. Etiqueta con la calificación energética.	22
2.11. Clasificación de la vía.	23
2.12. Provincias donde se realizó la sustitución de lámparas de alumbrado público.	26
3.1. Datos de la avenida Aguntín Freire.	36
3.2. Aspectos generales de la avenida Agustín Freire.	36
3.3. Clase de alumbrado y niveles de iluminación de la avenida Agustín Freire.	37
3.4. Características de las luminarias de la avenida Agustín Freire. . . .	37
3.5. Características de luminarias propuestas en la avenida Agustín Freire. .	39
3.6. Comparación entre situación actual y propuesta para la avenida Agustín Freire.	40
3.7. Datos para calcular la eficiencia de la avenida Agustín Freire. . . .	40
3.8. Eficiencia energética de la instalación de la avenida Agustín Freire. .	41
3.9. Cumplimiento de la eficiencia requerida de la avenida Agustín Freire. .	41
4.1. Datos de la calle secundaria La A.	44
4.2. Aspectos generales de la calle secundaria La A.	45
4.3. Clase de alumbrado y niveles de iluminación de la calle secundaria La A.	45
4.4. Características de las luminarias de la calle secundaria La A. . . .	46
4.5. Datos para calcular la eficiencia de la calle secundaria La A. . . .	47
4.6. Eficiencia energética de la instalación de la calle secundaria La A. .	48
4.7. Cumplimiento de la eficiencia requerida de la calle secundaria La A. .	48

4.8. Datos de la avenida García Moreno.	50
4.9. Aspectos generales de la avenida García Moreno.	51
4.10. Clase de alumbrado y niveles de iluminación de la avenida García Moreno.	51
4.11. Características de las luminarias de la avenida García Moreno.	52
4.12. Características de luminarias cambiadas de la avenida García Moreno.	53
4.13. Comparación entre situación actual y propuesta para la avenida García Moreno.	54
4.14. Datos para calcular la eficiencia de la avenida García Moreno.	54
4.15. Eficiencia energética de la instalación de la avenida García Moreno.	54
4.16. Cumplimiento de la eficiencia requerida de la avenida García Moreno.	54
4.17. Datos de la vía Perimetral.	56
4.18. Aspectos generales de la vía Perimetral.	57
4.19. Clase de alumbrado y niveles de iluminación de la vía Perimetral.	57
4.20. Características de las luminarias de la vía Perimetral.	58
4.21. Características de luminarias propuestas de la vía Perimetral.	58
4.22. Comparación entre situación actual y propuesta para la vía Perimetral.	60
4.23. Datos para calcular la eficiencia de la vía Perimetral.	60
4.24. Eficiencia energética de la instalación de la vía Perimetral.	60
4.25. Cumplimiento de la eficiencia requerida de la avenida García Moreno.	61
5.1. Cronograma de actividades del proyecto de tesis.	63

Acrónimos

ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
CEN	Comité Europeo de Normalización
CIE	Comisión Internacional de Iluminación
CITCEA	Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y Accionamientos
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad
ICE	Indice de Consumo Energético
IEC	Comisión Electrónica Internacional
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ITC	Instrucción Técnica Complementaria
LOSPEE	Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
PLANEE	Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador
UNE	Una Norma Española

Capítulo 1

PLANTEAMIENTO Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

1.1. Descripción del problema

Guayaquil es una ciudad que durante los años ha tenido un crecimiento irregular, lo cual se convierte en un problema para el municipio y las empresas encargadas al momento de brindar los servicios básicos que por ley a cada ciudadano le corresponde, y claramente, uno de los servicios afectados es el alumbrado público.

El inconveniente que más se ha encontrado es la no uniformidad en la distancia entre postes, esto es consecuencia de lo antes mencionado y deriva en una escasa iluminación en la zona, además de el conocido efecto cebra que no es nada más que la variación de zonas iluminadas y no iluminadas a lo largo de una vía. Esto y demás problemas en conjunto influyen en la zona a iluminar, confort visual y consumo energético, convirtiéndose en factores determinantes para que la empresa distribuidora busque un mecanismo adecuado para solventar estas deficiencias y al mismo tiempo optimizar recursos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Generar una propuesta técnica en la cual se incluyan los lineamientos de diseño del alumbrado público exterior, basado en criterios de eficiencia energética aplicado a la ciudad de Guayaquil.

1.2.2. Objetivos específicos

- Discutir los posibles inconvenientes que presenta la planificación y actuales diseños del alumbrado público en nuestro país.
- Analizar tres casos de estudio acerca de la situación actual de zonas específicas de la ciudad de Guayaquil, basado en simulaciones realizadas mediante el programa DIALux y considerando normativas internacionales de eficiencia energética.
- Realizar una comparativa del consumo energético entre el actual sistema de alumbrado público (muestra) y nuestra propuesta de mejora con los resultados obtenidos de las simulaciones.
- Verificar el comportamiento de los parámetros técnicos de alumbrado público exterior de los casos de estudio.

1.3. Justificación del problema

Una demanda creciente de energía junto con los hábitos de consumo de los usuarios ha incitado a nuevos requerimientos energéticos que busquen la manera de optimizar recursos. Además, se debe recordar que el alumbrado público es un servicio básico sin el que no podrían realizarse actividades nocturnas y que procura a su vez dar seguridad y confort necesarios para el desarrollo del día a día.

Considerando todo lo comentado en la descripción del problema, se ha visto la oportunidad de mediante una propuesta técnica reducir la potencia adicional en las luminarias con el uso de componentes novedosos y eficientes que incrementen las prestaciones, fiabilidad y ahorro energético de las instalaciones.

Además, en estos proyectos de iluminación los períodos de retorno de la inversión en implementación de nuevas tecnologías son cortos en comparación a otro tipo de tecnología. Por lo cual se quiere poner a disposición un manual para el adecuado diseño del alumbrado público, teniendo en cuenta las consideraciones técnicas necesarias y mejores niveles de eficiencia energética para tener un óptimo consumo de recursos lo cual en su consiguiente generará ahorro para el país.

1.4. Estructura de la tesis

Para el desarrollo del proyecto y la implementación de las propuestas mencionadas con anterioridad, la estructura del documento consta de cinco capítulos los cuales se describen de manera sustancial a continuación.

En el capítulo 2, se exponen los conceptos necesarios para la comprensión del proyecto, teniendo una breve descripción de los tipos de lámparas, recalando las más importantes y utilizadas, además de las normativas que se utilizan a nivel nacional e internacional, donde se observa las marcadas diferencias que existen entre las

mismas.

En el capítulo 3, se presenta la metodología a emplearse mediante la utilización del simulador DIALux en el cual podremos observar las variables necesarias por medio de ejemplos que cumplen con los criterios de eficiencia energética. El fin de este capítulo es demostrar la manera de utilizar y la capacidad que puede tener el simulador que emplearemos como medio de resolución en nuestro proyecto.

En el capítulo 4, se desarrollará la resolución de tres casos de estudio los cuales serán dentro de la ciudad de Guayaquil y se simularán las vías elegidas bajo las normativas de eficiencia energética y se compará con la condición actual del alumbrado público, demostrando las diferencias que existen entre ambas situaciones.

Finalmente en el capítulo 5, tenemos la recopilación de las ideas finales que logramos obtener a lo largo del proyecto, presentando una opinión de todo el proceso y la conclusión del mismo. Además, se presentan los aspectos que se podrían tomar en cuenta para la realización de futuros proyectos, buscando siempre obtener un resultado de mayor eficiencia y como último tópico la inclusión del cronograma del desarrollo de actividades que se realizaron durante el presente proyecto de tesis.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se aborda la literatura que se ha necesitado durante la realización del presente proyecto integrador, entre los cuales tenemos la forma de reproducir luz de las lámparas, la disposición de luminarias en las vías, los parámetros para un diseño de alumbrado público, etc. Además de las normas utilizadas internacionalmente y las aplicadas en la ciudad de Guayaquil, también una breve descripción de la gestiones que se han implementado principalmente por la empresa CNEL EP Guayaquil.

2.1. Tipos de lámparas según su forma de reproducir luz

En esta sección se expresa la información basada en las presentaciones expuestas por prestigiosas universidades españolas, y la página oficial del Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y Accionamientos (CITCEA) con respecto al tema de alumbrado público.

La selección del tipo de lámpara se basa en muchos factores, los cuales para poder ser entendidos con mayor claridad deben ser presentados desde sus inicios, principalmente se debe partir de la manera en que los cuerpos pueden producir luz.(David y col., 2011)

2.1.1. La termorradiación

La termorradiación es la forma de emitir luz basada en el calentamiento de un cuerpo, es decir, a medida que se aumenta la temperatura de un cuerpo tiende a tener un espectro visible.

Las lámparas que funcionan bajo este principio reproducen todos los colores debido a que manejan un espectro continuo, en comparativa con el espectro de luz del sol como vemos a continuación existe una manera similar en cuanto a continuidad.

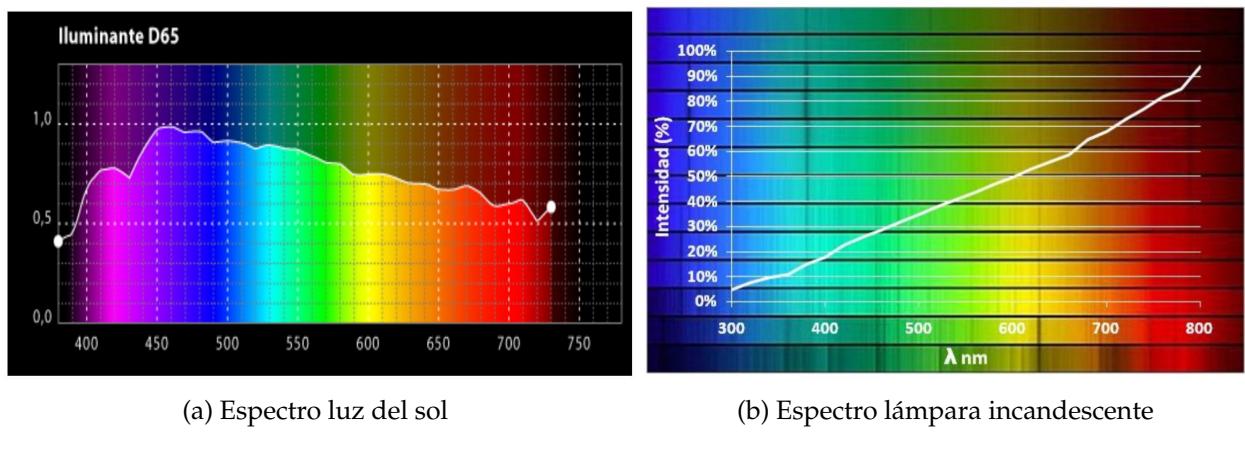


Figura 2.1: Comparación luz día - incandescencia.

Fuente: (David y col., 2011)

Si bien la reproducción de todos los colores es algo favorable para este tipo de tecnologías la cual es muy utilizada en lámparas incandescentes, tiene desventajas muy marcadas las cuales son principalmente el calentamiento que es algo irremediable debido al principio de funcionamiento que tienen y un bajo rendimiento luminoso llegando solo al 40 % (6500 K) en relación con la radiación visible, al sobrepasar esa temperatura o tener una temperatura por debajo de la mencionada indica un decrecimiento en la radiación visible, estas desventajas se presentan de mejor manera con la figura 2.2.

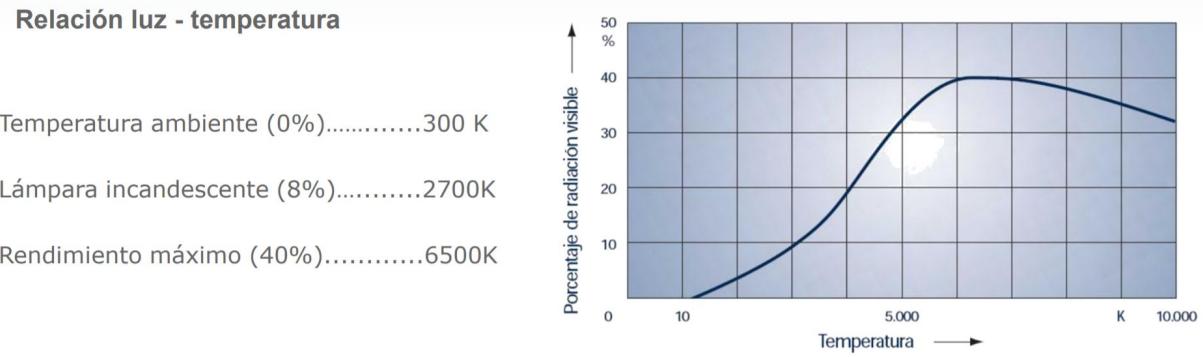


Figura 2.2: Relación luz - temperatura.

Fuente: (David y col., 2011)

2.1.2. La luminiscencia

La luminiscencia se basa en la excitación de un cuerpo por medio de un agente externo, según el método que se use para excitar el cuerpo se tienen diferentes tipos de luminiscencia.

2.1. Tipos de lámparas según su forma de reproducir luz

- Electroluminiscencia.
 - Lámparas de Descarga.
 - LEDs.
 - Tubos Catódicos.
- Fotoluminiscencia.
 - Fluorescencia.
 - Fosforescencia.
 - Láser.
- Otras.
 - Bioluminiscencia.
 - Quimioluminiscencia.
 - Radioluminiscencia.
 - Triboluminiscencia.

Las lámparas que se manejan bajo este principio tienen como punto a favor que la mayor parte del tiempo se encuentra dentro del espectro visible lo cual indica un elevado rendimiento, ahora si bien se encuentra dentro del espectro visible su disposición no es de manera continua por lo cual no se logra la reproducción de todos los colores.

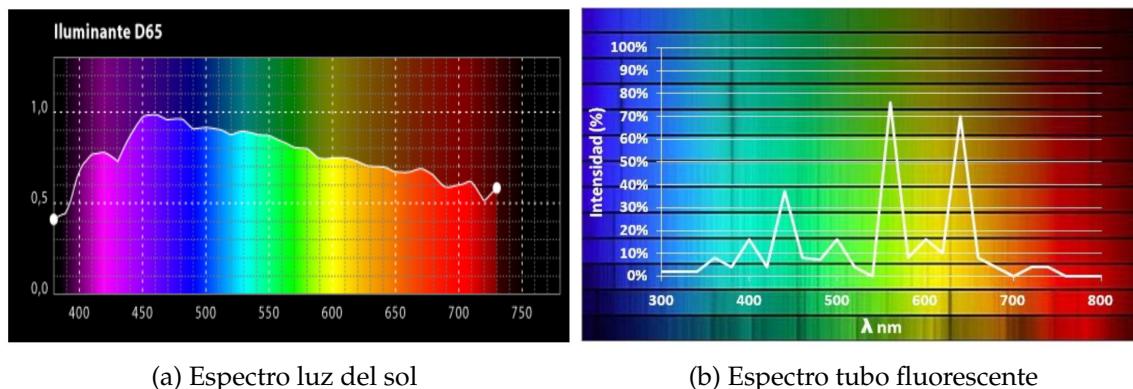


Figura 2.3: Comparación luz día – luminiscencia.

Fuente: (David y col., 2011)

Basado en la manera que los cuerpos emiten luz en la actualidad tenemos diferentes tipos de tecnologías de lámparas las cuales se usan tanto en interiores como en exteriores, a continuación se presentan las principales:

- Lámparas LED.
- Lámparas de descarga de vapor de mercurio de baja presión.
- Lámparas de descarga de alta intensidad (HID).

2.1.3. Lámparas LED

Las lámparas LED se encuentran compuestas únicamente por diodos emisores de luz. Estos diodos, al tener contacto con la electricidad, emiten una luz tenue o sutil. La tecnología LED se encarga de agrupar varios diodos de similares características en una misma placa para que, de esta manera, al tener la agrupación de todas esas iluminaciones tenues formar un LED. De esta forma, es posible acoplar la intensidad y constancia de la luz. La característica que hace a los diodos tan útiles para este tipo de tecnología es que, al ser muchos micropuntos generadores de luz, es muy poco probable que todos fallen a la vez. Por eso su luz es más constante y se logra obtener una mayor confiabilidad en su rendimiento. Además, presenta la particularidad de que estos diodos son muy eficientes a la hora de aprovechar la energía y transformarla en luz. De ahí que, con menos energía eléctrica, seamos capaces de generar más luz que con la tecnología convencional.

A continuación se presentan las características generales de la tecnología LED.

- Bajo consumo y elevada eficacia.
- Larga duración llegando a ser alrededor de 60000 horas.
- Pequeñas dimensiones.
- Tiene niveles IRC (índice de reproducción cromática) excelentes.

2.1.4. Lámparas de descarga de vapor de mercurio de baja presión

La eficacia de estas lámparas depende de varios factores, como lo son: la potencia de la lámpara, tipo y presión del gas almacenado, características de la sustancia fluorescente que recubre el tubo, temperatura ambiente. Esta última es de vital importancia debido a que es la encargada de determinar la presión del gas y en último término el flujo de la lámpara. La eficacia de este tipo de lámparas oscila entre los 38 y 91 lm/W dependiendo de las características de cada lámpara. Para continuar se muestran las características de las lámparas de mercurio de baja presión:

- Emiten en UV por lo cual requiere de un recubrimiento.
- Encendido instantáneo.
- Requiere de equipo auxiliar.

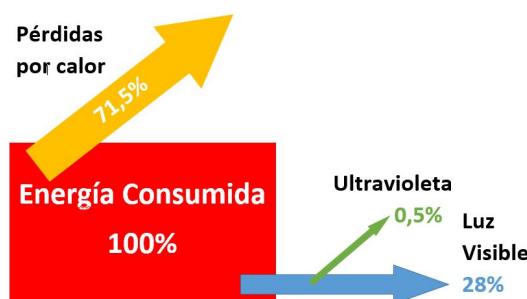


Figura 2.4: Balance energético de una lámpara fluorescente.

Fuente: (Accionamientos, 2017)

2.1.5. Lámparas de descarga de alta intensidad (HID)

Este tipo de lámparas tiene la particularidad de que a medida que se incrementa la presión del vapor de mercurio dentro del tubo de descarga, la radiación ultravioleta propia de la lámpara a baja presión pierde relevancia respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404,7 nm, azul 435,8 nm, verde 546,1 nm y amarillo 579 nm). En estas circunstancias la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para poder solucionar este problema habitualmente se añade sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara. La temperatura de color oscila entre 3500 y 4500 K, con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta a medida que aumenta la potencia, aunque para un mismo valor de potencia es posible aumentar la eficacia añadiendo recubrimientos de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.

Debido a que estas lámparas presentan una forma discontinua del espectro, la luz emitida es una mezcla de varias radiaciones monocromáticas; en su mayor parte en la zona ultravioleta (UV) o visible del espectro. Esto hace que la reproducción del color y el rendimiento en color sean pobres.

La vida útil de la lámpara se ve afectada por dos aspectos básicos, los cuales son: la depreciación del flujo que se produce por oscurecimiento de la superficie y el deterioro de los componentes de la lámpara, lo cual es causado por la degradación de los electrodos por agotamiento del material emisor que los recubre. Un balance energético se puede apreciar en la figura 2.5.

Algunas características de estas luminarias son las siguientes:

- Eficacia luminosa.
- 10000 horas de duración.
- Debido a la alta tensión que maneja su encendido dura alrededor de 3 minutos.



Figura 2.5: Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión.

Fuente: (Accionamientos, 2017)

2.2. Luminarias de alumbrado público

Una vez comprendido los tipos de lámparas y las formas de generar luz de las mismas, es importante tener presente la composición de las luminarias que de manera general se basan en el mismo principio de elaboración, independiente del tipo de lámpara que se vaya a utilizar.

La norma UNE-EN 60588-1 manifiesta que una luminaria es un aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas, (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.

2.2.1. Partes de la luminaria

Fundamentalmente las luminarias están conformada con los siguientes componentes.

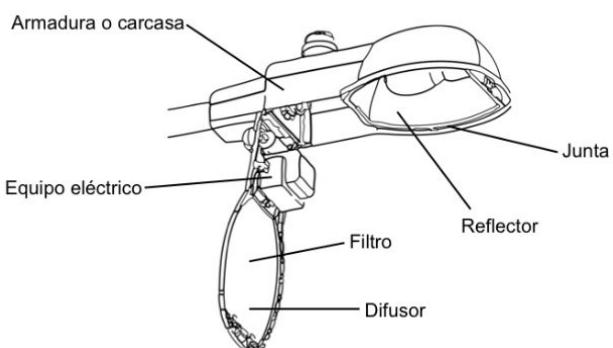


Figura 2.6: Componentes de la luminaria.

Fuente: (Cataluña, 2015)

- **Armadura o carcasa:** está fabricada con materiales resistentes como la chapa de acero, chapa de aluminio, vidrio, debido a que en este elemento se integran los demás componentes de la luminaria.
- **Equipo eléctrico:** formado por el portalámparas más los elementos necesarios para el arranque y funcionamiento de la lámpara.
- **Reflector:** superficies diseñadas para reflejar el flujo luminoso de la lámpara en la dirección deseada. Suelen incorporar una pantalla para evitar deslumbramientos. Está fabricada con chapas de acero finas esmaltadas, de aluminio anodizado o de aluminio de alta reflectancia.
- **Difusor:** carcasa o pantalla que encierra la lámpara. Se usa para difundir el haz de luz y evitar deslumbramiento.
- **Filtro:** se acoplan con los difusores, para potenciar o disminuir la radiación ultravioleta o infrarroja, polarización de la luz en un plano o alteración de los colores de la radiación.

- **Refractor:** superficie que modifica la distribución del flujo luminoso de la lámpara por refracción.
- **Junta:** elemento de goma que aporta a la luminaria el grado de estanqueidad.

Un cambio importante que se observa entre las luminarias convencionales y las luminarias LED es la implementación de la tarjeta electrónica para la utilización de las lámparas LED.

2.3. Disposición de las luminarias en las vías

Pensando en el funcionamiento de las calles y las conexiones entre las mismas se tiene la siguiente disposición que puede ser utilizada en calles de una sola vía o de dos vías.

- Unilateral.
- Ziz-Zag.
- Pareada.
- Suspendida transversal.

Dependiendo de la anchura de la vía y la altura de montaje de la luminaria se presenta la selección de la correcta disposición de las luminarias para la vía pública. Para un mejor entendimiento se presenta la figura 2.7

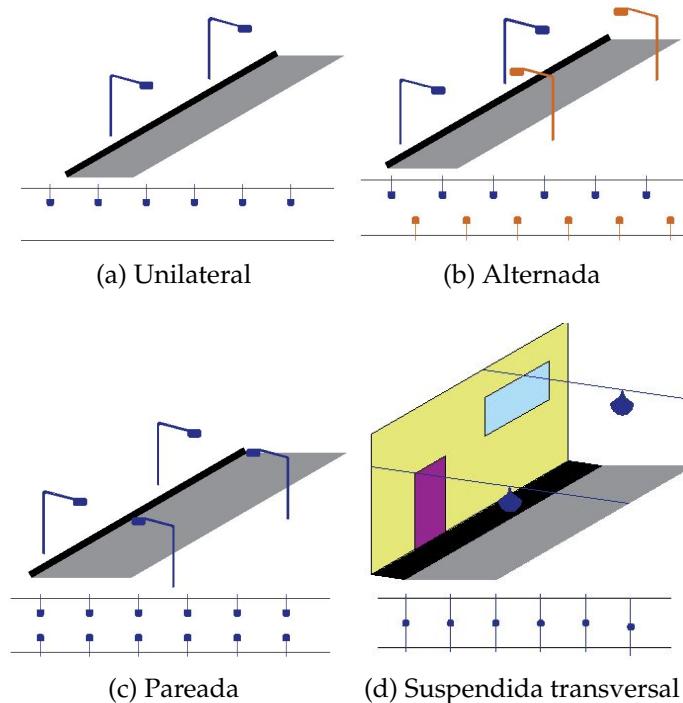


Figura 2.7: Disposición de luminarias para tramos con una calzada.

Fuente: (Accionamientos, 2017)

Para un mayor entendimiento de lo mencionado con anterioridad se presenta el cuadro 2.1.

Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje	
Unilateral	$A/H < 1$
Zig-Zag	$1 \leq A/H \leq 1,5$
Pareada	$A/H > 1,5$
Suspendida	Calles muy estrechas

Cuadro 2.1: Relación para selección de luminarias en tramos rectos.

Fuente: (Accionamientos, 2017)

Para las calles doble vía se puede presentar la disposición de las lámparas de manera individual o de manera mixta, como se ilustra en la figura 2.8, teniendo en cuenta siempre las dimensiones de la calzada como se menciona en el cuadro 2.1.

- Central con doble brazo.
- Combinación de brazos doble y alternada.
- Unilateral en calzadas diferenciadas.

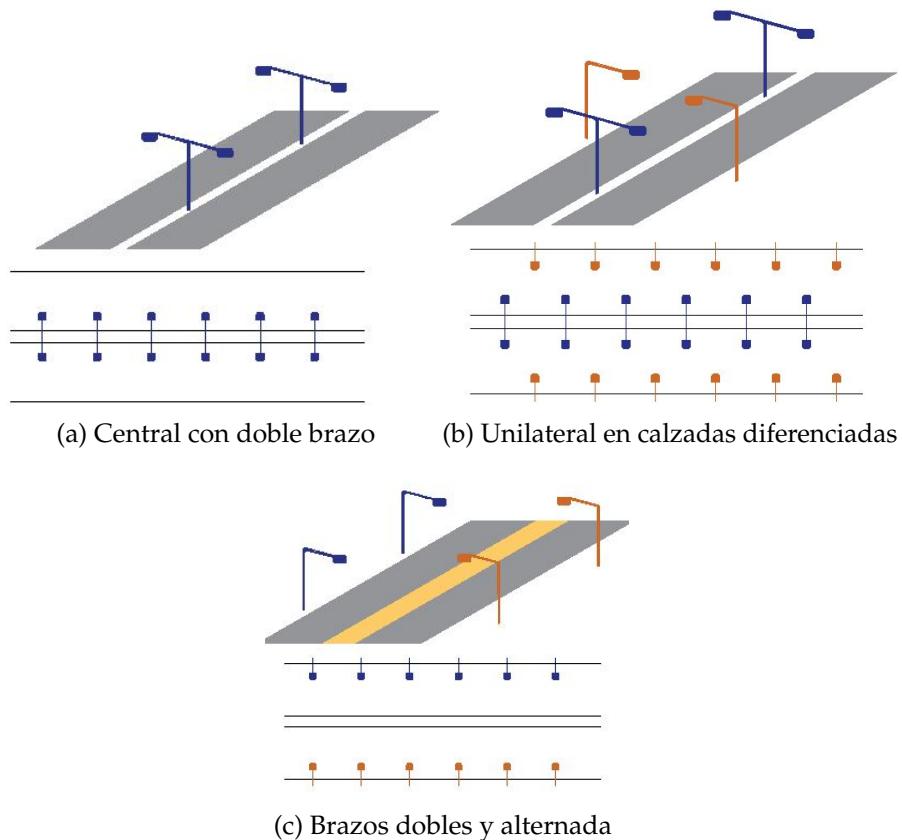


Figura 2.8: Disposición de luminarias para tramos con varias calzadas.

Fuente: (Accionamientos, 2017)

Para las zonas pobladas donde contamos con pasos peatonales, las luminarias deberían ser colocadas pensando en las consideraciones anteriores.

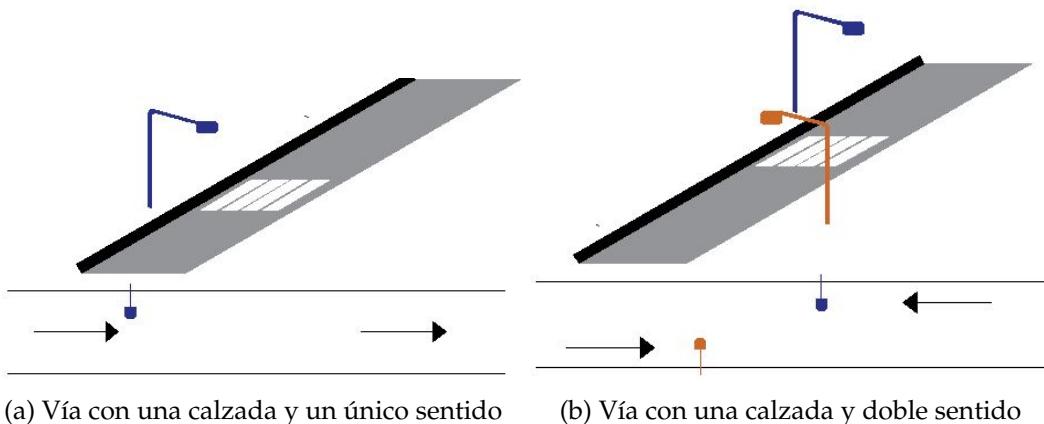


Figura 2.9: Disposición de luminarias para paso de peatones.

Fuente: (Accionamientos, 2017)

Para las calles que presentan tramos curvos, se deben tomar en cuenta más consideraciones, para este tipo de calles la manera correcta es reducir la distancia entre las luminarias a medida que se reduce el radio de la curva. Además se puede utilizar una disposición similar a las mencionadas para una vía y dos vías, tomando en cuenta el cuadro 2.1 y verificando la dirección o direcciones de la vía.

Con lo mencionado anteriormente podemos utilizar las siguientes disposiciones:

- Unilateral por el lado izquierdo.
- Bilateral pareada.

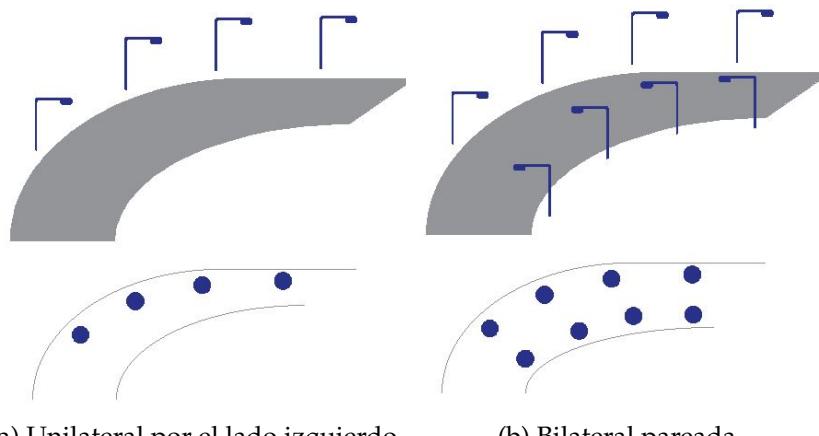


Figura 2.10: Disposición de luminarias para tramos curvos.

Fuente: (Accionamientos, 2017)

Si el radio de la curvatura es mayor a 300 metros, se considerará como un tramo recto y se aplicará las consideraciones correspondientes a un tramo recto.

Para una mejor apreciación tenemos el cuadro 2.2 donde se presentan ambos casos con el radio mayor a 300 metros y con el radio menor a 300 metros.

Radio de curvatura	Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje	
R>300 m	Similar a un tramo recto	
R<300 m	A/H<1,5 A/H>1,5	Unilateral exterior Bilateral Pareada

Cuadro 2.2: Relación para selección de luminarias en tramos curvos.

Fuente: (Accionamientos, 2017)

2.4. Parámetros de diseño del alumbrado público

Para la iluminación pública se deberá considerar los siguientes parámetros para vías vehiculares y peatonales mismos que han sido extraídos de la regulación CONELEC 005/2014, (actual ARCONEL) y la norma IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) 12464.2 para alumbrado de exteriores, la cual ha sido aprobada por el CEN (Comité Europeo de Normalización), la cual ha sido adoptada por los países miembros de la Unión Europea.

2.4.1. Parámetros fotométricos

a) Luminancia (L)

Relación entre la intensidad luminosa que ve el ojo desde una superficie y el área de la superficie proyectada en la dirección del ojo [cd/m²].(Zúñiga, 2015)

$$L = \frac{I}{A * \cos(\beta)} \quad (2.1)$$

Donde:

I: Intensidad luminosa.

A: Área iluminada.

β: Ángulo entre la normal de la superficie y la dirección considerada.

b) Luminancia promedio de la calzada

Se calcula como el promedio aritmético de las luminancias en cada uno de los puntos de cálculo. Este es un valor mínimo que deberá mantenerse a lo largo de la vida útil de la instalación el cual depende de factores como la distribución de la luz, el flujo luminoso y la capacidad de reflexión de la calzada. Este cálculo debe efectuarse según la norma CIE 140-2000.

Los otros dos parámetros son la uniformidad general de luminancia de la calzada (*U_o*) y la uniformidad longitudinal sobre la calzada (*U_L*), esta última es la relación entre la luminancia mínima y la máxima.

c) Entorno luminoso

Para el reconocimiento de un entorno luminoso, primero se debe cumplir con tres necesidades humanas básicas las cuales son:

- Confort visual.
- Prestaciones visuales.
- Seguridad.

Basándose en la satisfacción de estas necesidades se logra obtener los parámetros fundamentales que determinan el ambiente luminoso.

- Rendimiento de colores y aspecto de color de la luz.
- Distribución de luminancias.
- Iluminancia.
- Deslumbramiento.

d) Aspecto de color

Las cualidades de color de una lámpara se definen por los siguientes atributos:

- La apariencia de color de la propia lámpara: Se refiere a la cromaticidad de la luz emitida la cual es cuantificada por la temperatura de color correlacionada a continuación se expresa la apariencia con la respectiva temperatura de color correlacionada. Esto se aprecia en el cuadro 2.3

Apariencia de color	Temperatura de color correlacionada
Cálida	Inferior a 3300 K
Intermedia	De 3300 a 5300 k
Fría	Superior a 5300 k

Cuadro 2.3: Apariencia de color de las lámparas.

Fuente: (Accionamientos, 2017)

Si bien existen datos técnicos que pueden ayudar a la selección de la temperatura de color con su respectiva apariencia, la selección es más una apreciación psicológica y estética de una persona hacia un entorno.

- Las capacidades para el rendimiento de colores: En cuanto al rendimiento de color tener este factor en óptimas condiciones mejora las prestaciones visuales y la sensación de confort y bienestar de las personas.

e) Distribución de luminancias

La distribución de luminancias es la encargada de controlar el nivel de adaptación de los ojos, la cual afecta a la visibilidad de una persona, al aumentar la distribución de luminancias obtenemos agudeza visual, sensibilidad al contraste y eficiencia de las funciones oculares, todas estas ayudan a tener una mejor apreciación del entorno.

f) Iluminancia (E)

Es la relación entre el flujo luminoso que recibe una superficie y la superficie, unidad de medida lux [lx].

Este parámetro tiene un gran impacto en la manera de como las personas tienen la percepción del entorno.

$$E = \frac{d\phi}{A} \quad (2.2)$$

Donde:

$d\phi$: Flujo luminoso.

A : Área iluminada.

g) Deslumbramiento

Es un fenómeno de la visión que produce molestia o disminución en la capacidad de diferenciar objetos, o ambas cosas a la vez, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias.

Se pueden reducir mediante la adopción de las siguientes medidas:

- Disposición apropiada de luminarias.
- Acabado superficial.
- Restricción de luminancia de luminarias.
- Aumento de la superficie luminosa de la luminaria.

El deslumbramiento procedente de las luminarias de una instalación de iluminación exterior debe determinarse usando el método del índice de deslumbramiento (R_g , Glare Rating) de la CIE.

$$R_g = 27 + 24 \log_{10} \left(\frac{L_{vl}}{L_{ve}^{0,9}} \right) \quad (2.3)$$

Donde:

L_{vl} : Es la luminancia de velo total, causada por la instalación y es la suma de las luminancias de velo producida por cada luminaria individual.

L_{ve} : Es la luminancia de velo equivalente del entorno, a partir de la suposición de que la reflexión del entorno es totalmente difusa.

h) Intensidad luminosa (I)

Cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido, su unidad de medida es la candela [cd].

$$I = \frac{d\phi}{d\theta} \quad (2.4)$$

Donde:

$d\phi$: Flujo luminoso.

$d\theta$: Ángulo sólido.

i) Índice de reproducción cromático

Mide la capacidad de una lámpara para reproducir los colores ante el ojo humano. A continuación se presenta en el cuadro 2.4 los rangos de un adecuado IRC.

Índice de reproducción cromática	
90<IRC<100	Excelente
80<IRC<90	Bueno
IRC<80	Moderado o pobre

Cuadro 2.4: Índice de reproducción cromático.

Fuente: (Beltrán, 2015)

j) Flujo luminoso

El flujo luminoso es la potencia de radiación luminosa visible ponderada con sensibilidad espectral del ojo, unidad de medida el lumen [lm].

$$f = E * A \text{ (lm)} \quad (2.5)$$

Donde:

E : Iluminancia en lux.

A : Área iluminada, en metros cuadrados.

k) Eficacia luminosa

Relación que existe entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz y la potencia que consume, unidad de medida porcentaje.

$$n = \frac{lm}{W} \text{ (%)} \quad (2.6)$$

Donde:

lm : Flujo luminoso.

W : Potencia eléctrica.

1) Vías peatonales

Según el tipo de vía peatonal, la clase de iluminación se calcula de la siguiente manera:

$$P = (6 - \sum V_{ps}) \quad (2.7)$$

Donde:

P : Es la clase de iluminación y va de P1 a P6.

$\sum V_{ps}$: Es el sumatorio de los valores de ponderación seleccionados.

Clases de iluminación	Tipos de aplicación	
	Iluminancia Horizontal (lx)	
	Referida a nivel de la superficie de uso	
	Promedio	Mínimo
P1	15,00	3,00
P2	10,00	2,00
P3	7,50	1,50
P4	5,00	1,00
P5	3,00	0,60
P6	2,00	0,40

Cuadro 2.5: Parámetros para selección de la clase de iluminación (P).

Fuente: (ARCONEL, 2018)

m) Vías con tráfico motorizado

Según el tipo de vía con tráfico motorizado, la clase de iluminación se calcula de la siguiente manera:

$$M = (6 - \sum V_{ps}) \quad (2.8)$$

Donde:

M : Es la clase de iluminación y va de M1 a M6.

$\sum V_{ps}$: Es el sumatorio de los valores de ponderación seleccionados.

PARÁMETRO	OPCIONES	VALOR DE PONDERACIÓN (VP)
Velocidad	Elevada	1
	Alta	0,5
	Moderada	0
Volumen del tráfico	Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Bajo	-0,5
Composición de tráfico	Muy bajo	-1
	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2
	Mezclado	1
Separación de vías	Solamente motorizado	0
	No	1
Densidad de la intersección	Si	0
	Alta	1
Vehículos parqueados	Moderada	0
	Se permite	10,5
Iluminación ambiental	No se permite	0
	Alta	1
	Moderada	0
Guías visuales	Baja	-1
	Pobre	0,5
	Moderado o bueno	0

Cuadro 2.6: Parámetros para selección de la clase de iluminación (M)

En el cuadro 2.6 se indica el valor para las ponderaciones (VP) que se incluyen en el sumatorio de la ecuación 2.8.

n) Factor de mantenimiento

El esquema de iluminación debería estar diseñado con un factor de mantenimiento calculado para el equipo de alumbrado seleccionado. Este factor depende de las características de mantenimiento de la lámpara y del equipo eléctrico, la luminaria, el ambiente y el programa de mantenimiento.

El diseñador debe:

- Establecer el factor de mantenimiento y anotar todas las suposiciones hechas en el establecimiento.
- Especificar el equipo de iluminación adecuado para el ambiente de aplicación.
- Preparar un programa de mantenimiento completo que incluya la frecuencia del reemplazo de las lámparas, los intervalos de limpieza de las luminarias y el método de limpieza.

2.5. Normativa nacional de alumbrado público

En la actualidad, el país está regido bajo la norma 069 del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) que está en vigencia desde el 15 de abril del 2014 y busca brindar una calidad de alumbrado público certificada, tratando de garantizar bajo las condiciones técnicas necesarias la calidad de los componentes que conforman el alumbrado público pensando siempre en el último beneficiario y en la preservación del medio ambiente.

La norma es aplicada a todos la instrumentación que se utilice para implementar alumbrado público, en esta instrumentación se incluyen todos los productos que sean elaborados, importados y comercializados en el Ecuador como lo son:

- Luminarias y proyectores.
- Lámparas de halogenuros metálicos.
- Lámparas de vapor de sodio de alta presión.
- Balastros electromagnéticos.
- Balastros electrónicos.
- Arrancadores (ignidores).
- Foto controles.
- Temporizadores (relés de conmutación).
- Lámparas, módulos y luminarias LED para alumbrado público.
- Carcasa para luminaria de aluminio y plástico.

La norma establece que para todos los productos antes mencionados se debe cumplir con varias indicaciones técnicas las cuales están homologadas por el MEER (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable), de no cumplir con las indicaciones

técnicas se pueden presentar sanciones ya que se puede estar generando riesgo por malas instalaciones o mal uso del sistema de iluminación.

Esta norma se encuentra basada en un conjunto de normas internacionales, las cuales llegan a establecer todas las condiciones que se deben cumplir en Ecuador para la implementación del alumbrado público.

- Norma IEC 60598-1, Luminarias. Parte 1
- Norma IEC 60598-2-3, Luminarias. Parte 2-3
- Norma IEC 62035, Lámparas de descarga
- Norma IEC 60662, Lámparas de vapor de sodio a alta presión.
- Norma IEC 61347-1, Dispositivos de control de lámpara. Parte 1.
- Norma IEC 61347-2-9, Dispositivos de control de lámpara. Parte 2-9.
- Norma IEC 60923, Aparatos auxiliares para lámparas. Balastros.
- Norma IEC 61347-2-12, Dispositivos de control de lámpara. Parte 2-12.
- Norma IEC 61347-2-1, Dispositivos de control de lámpara. Parte 2-1.
- Norma IEC 60927, Aparatos auxiliares para lámparas. Aparatos arrancadores.
- Norma IEC 61048, Aparatos auxiliares para lámparas. Etc.

Una mayor descripción de las normas mencionadas se puede visualizar en la resolución No. 15 046.

Ademas de la norma INEN 069, nuestro país está regido bajo la regulación ARCONEL 006/18 la cual está en vigencia desde el 28 de diciembre del 2018, esta indica las prestaciones del servicio de alumbrado público general necesarias para trabajar con calidad y eficiencia, además de los responsables de la supervisión, mantenimiento y control del alumbrado público.

El artículo 62 de la LOSPEE (Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica), en su primer inciso, establece que "El Estado, a través de las empresas públicas que realizan la actividad de distribución, será responsable de la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de alumbrado público general. Además dichas empresas suministrarán la energía eléctrica para la semaforización, sistemas destinados a la seguridad ciudadana, alumbrado público ornamental e intervenido".

Por lo cual la empresa CNEL EP es la que está a cargo de todos los lineamientos que se deben manejar en el alumbrado público en Guayaquil, además tal como lo indica el artículo 62 inciso 2 de la LOSPEE junto con el municipio de la ciudad serán los encargados de fijar el costo de alumbrado público cuyo rubro debe ser aprobado por la ARCONEL.

A continuación, se describe el costo del alumbrado público en la ciudad de Guayaquil.

Rango de consumo	USD/abonado mes
0	0,11
1 - 50	0,13
51 - 100	0,53
101 - 150	0,77
151 - 200	0,98
201 - 250	1,48
251 - 300	2,56
301 - 350	3,77
351 - 500	5,80
501 - 700	7,97
701 - 1000	21,16
1001 - 1500	44,92
1501 - 2500	79,24
2501 - 3500	124,11
>3500	179,54

Cuadro 2.7: Pliego tarifario de alumbrado público general.

Fuente: (ARCONEL, 2018)

2.6. Instrucciones técnicas complementarias

2.6.1. Eficiencia energética

Se define, la eficiencia energética de alumbrado exterior como la relación de la multiplicación de la superficie iluminada por la iluminancia media entre el total de potencia activa en la instalación. (ITC-EA-01, 2008)

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{P} \left(\frac{m^2 * lux}{W} \right) \quad (2.9)$$

Donde:

ε : Eficiencia energética de la instalación exterior.

P : Potencia activa instalada.

S : Superficie iluminada.

E_m : Iluminancia media en servicio de la instalación.

■ Requisitos mínimos de eficiencia energética

El alumbrado vial funcional corresponde a autopistas, autovías, vías urbanas y carreteras, consideradas en la norma ITC 02. La instalación independiente del tipo de lámpara, pavimento o características deberá cumplir con los requisitos mínimos de eficiencia energética.

Iluminancia media de servicio E_m	Eficiencia energética mínima ε
≥ 30	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
$\leq 7,5$	9,5

Se deberá hacer una interpolación lineal para obtener valores no comprendidos en la tabla

Cuadro 2.8: Eficiencia energética mínima según iluminancia.

Fuente: (MINCOTUR, 2008)

■ **Clasificación energética de las instalaciones de alumbrado**

Cada tipo de alumbrado exterior excepto alumbrado de señales, anuncios y de tipo festivo navideño, se deberán clasificar en función de su índice de eficiencia energética.

Al cociente entre la eficiencia energética de la instalación (ε) y el valor de eficiencia energética de referencia (ε_R) se denomina el índice de eficiencia energética I_ε . Para lo cual se usará el cuadro 2.9.

$$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} \quad (2.10)$$

Alumbrado vial funcional	
Iluminancia media en servicio proyectada (E_m)	Eficiencia energética de referencia (ε_R)
≥ 30	32
25	29
20	26
15	23
$\leq 7,5$	14

Se deberá hacer una interpolación lineal para obtener valores no comprendidos en la tabla

Cuadro 2.9: Valores de eficiencia energética en referencia

Fuente: (MINCOTUR, 2008)

2.6. Instrucciones técnicas complementarias

Se ha definido una etiqueta con la calificación energética de la instalación de alumbrado con el fin de facilitar la interpretación con una escala de siete letras que desde la letra A (más eficiente y menor consumo) hasta la letra G (menos eficiente y mayor consumo).

Se usa el índice de consumo energético (ICE) que es igual al inverso del índice de eficiencia energética.

$$ICE = \frac{1}{I_e} \quad (2.11)$$

Calificación enegética	Índice de consumo energético	Índice de eficiencia energética
A	ICE <0,91	$I_e > 1,1$
B	$0,91 \leq ICE < 1,09$	$1,1 \geq I_e > 0,92$
C	$1,09 \leq ICE < 1,35$	$0,92 \geq I_e > 0,74$
D	$1,35 \leq ICE < 1,79$	$0,74 \geq I_e > 0,56$
E	$1,79 \leq ICE < 2,63$	$0,56 \geq I_e > 0,38$
F	$2,63 \leq ICE < 5,00$	$0,38 \geq I_e > 0,20$
G	$ICE \geq 5,00$	$I_e \leq 0,20$

Cuadro 2.10: Etiqueta con la calificación energética.

Fuente: (MINCOTUR, 2008)

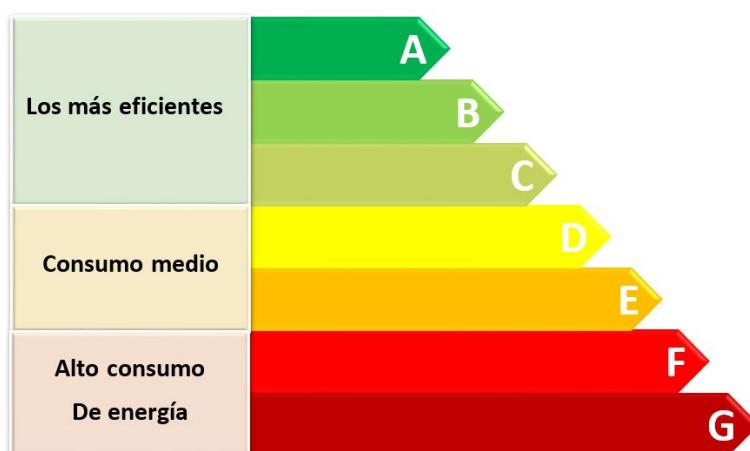


Figura 2.11: Calificación energética de una instalación de alumbrado.

Fuente: (Accionamientos, 2017)

En la figura 2.11 se aprecia las categorías que se puede tener en un etiquetado de eficiencia energética.

2.6.2. Niveles de iluminación

El nivel de iluminación es el conjunto de requisitos fotométricos o luminotécnicos, los niveles de estos parámetros no deberán superar el 20 % de los niveles medios establecidos, estos niveles están basadas en la normas de la serie UNE-EN 13201 que corresponde a "Iluminación de carreteras".

- **Alumbrado Vial.**

Las vías dependen de múltiples factores como son el tipo de vía, su trazado, intensidad de tráfico y separación de carriles. En base a esos criterios se clasifican en grupos al cual se le asignará requisitos fotométricos a cada uno de ellos. Esto se aprecia en el cuadro 2.11.

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad de tráfico rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	carriles bici	—
D	de baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	vías peatonales	$v \leq 5$

Cuadro 2.11: Clasificación de la vía.

Fuente: (MINCOTUR, 2008)

2.6.3. Mantenimiento eficiente de las instalaciones

La vida útil de una instalación de alumbrado exterior se degrada a lo largo del tiempo. Un buen mantenimiento permitirá prolongar la calidad de la instalación, mantener un funcionamiento continuo y lograr una eficiencia energética adecuada. Las características tanto mecánicas como fotométricas de una instalación de alumbrado se degradan a lo largo del tiempo por un sin número de causas, entre las más importantes tenemos las siguientes:

- El desaseo de las lámparas y su sistema óptico.
- El deterioro de los componentes.
- Los incidentes como accidentes de tránsito, vandalismo, etc.

El alumbrado exterior está sometido a la intemperie, agentes atmosféricos además de que su primordial función es en materia de seguridad vial, esto obliga a realizarles un adecuado mantenimiento.

Se denomina factor de mantenimiento (f_m) a la división entre iluminancia media de la zona después de un lapso de funcionamiento y la iluminancia media obtenida al inicio de la instalación.

$$f_m = \frac{E_{servicio}}{E_{inicial}} = \frac{E}{E_i} \quad (2.12)$$

Este valor siempre será menor que la unidad ($f_m < 1$) y deberá interesar que el valor resultante sea lo más elevado posible para una frecuencia de mantenimiento lo más baja posible.

También el factor de mantenimiento es el resultado del producto de los factores de depreciación del flujo luminoso, depreciación lumínica y supervivencia de la misma.

$$f_m = FDFL * FSL * FDLU \quad (2.13)$$

Donde:

FDFL: Factor de depreciación del flujo luminoso.

FSL: Factor de supervivencia de la lámpara.

FDLU: Factor de depreciación de la luminaria.

2.7. Prácticas de eficiencia energética en alumbrado público

Tratando de mejorar la eficiencia energética del país, se desarrolló el PLANEE (Plan Nacional de Eficiencia Energética), el cual con varios estudios y basado en criterios de eficiencia energética trata de generar un ahorro para el Ecuador, la estrategia generada bajo estos estudios parte del análisis del 2014 tomando este año como fecha de partida para generar los diversos planes.

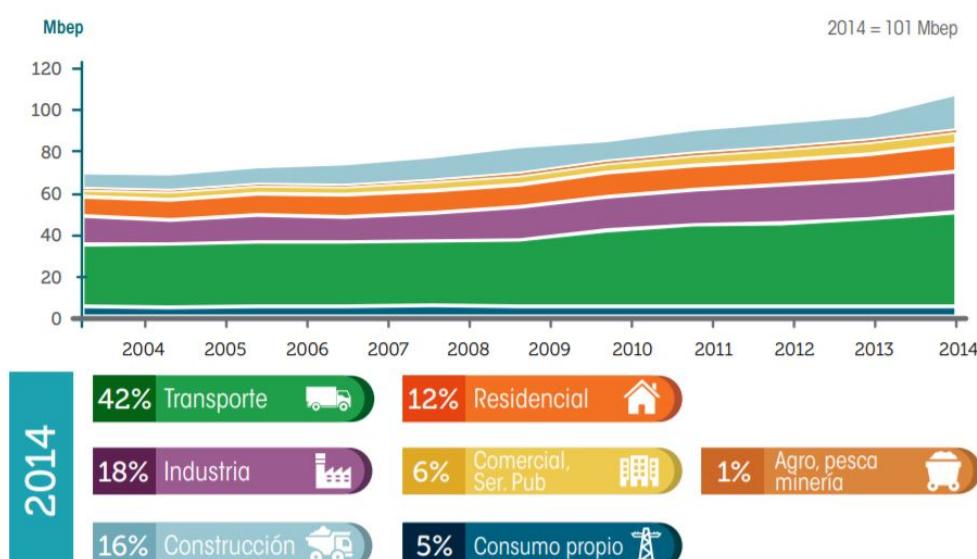


Figura 2.12: Evolución del consumo de energía por sectores.

Fuente: (MEER, 2015)

De la figura 2.12 se puede apreciar que del total del consumo de energía, el 6 % corresponde al alumbrado eléctrico nacional, como meta el PLANEE 2016-2035

tiene el presentar un ahorro aproximado de USD 84131 millones para los años de planeación, generando una disminución del consumo de energía total.

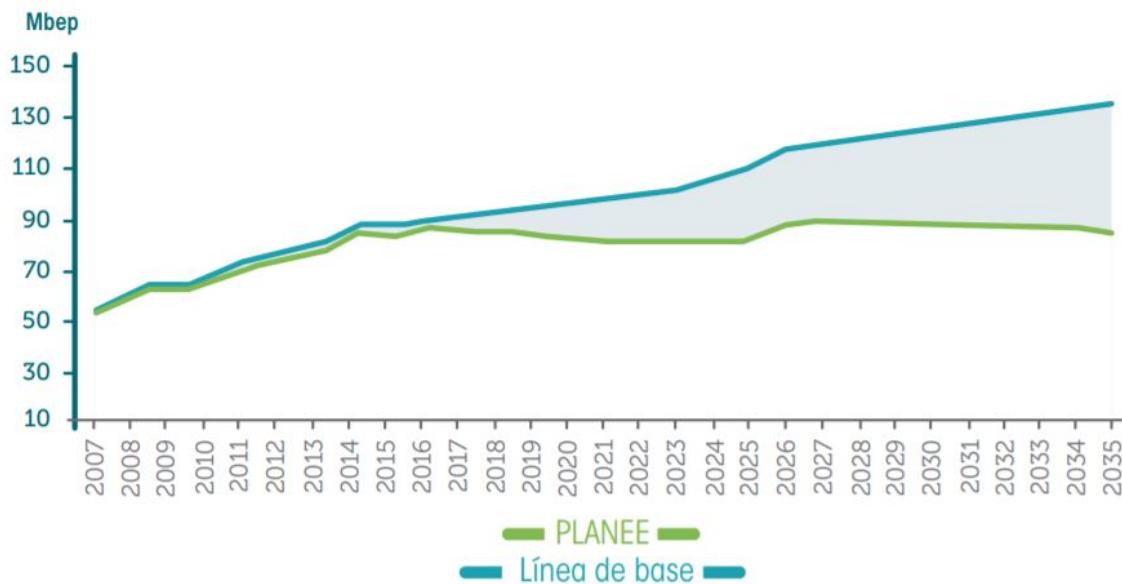


Figura 2.13: Energía total evitada por implementación del PLANEE.

Fuente: (MEER, 2015)

A lo largo de los años se espera tener una reducción notable a partir del año 2016 en adelante utilizando la implementación de los siguientes planes:

- Instrumentos regulatorios.
- Reconversión tecnológica e iluminación residencial.
- Programa para la renovación de equipos de consumo energético eficiente.
- Programa de eficiencia energética para cocción por inducción y calentamiento de agua eléctrica.
- Alumbrado público eficiente.

De estos planes, el que despertó nuestro interés debido al gran impacto que puede tener es el alumbrado público eficiente. El impacto que esta estrategia puede generar es de grandes proporciones como se constata en los cambios ya establecidos entre los años 2012 y 2014, el ahorro que generó al realizar el cambio de 61610 luminarias de vapor de mercurio de 175 W por luminarias de vapor de sodio de 100 W. Este cambio se reflejó en un reducción anual de energía eléctrica de aproximadamente 20037 MWh (aproximadamente \$2 MM/año) y 4.6 MW de potencia.

Estas luminarias fueron cambiadas en diversos sectores del país para tomar en cuenta varios pliegos tarifarios, tal como lo descubre el cuadro 2.12.

Regional de CNEL	Cantidad
Milagro	2216
Los Ríos (Babahoyo)	5182
Santa Elena	7000
Sucumbíos	3955
Manabí	14000
Guayas Los Ríos (Duran)	7500
El Oro	1889
Bolívar	2868
Santo Domingo	8000
Esmeraldas	9000
Total	61610

Cuadro 2.12: Provincias donde se realizó la sustitución de lámparas de alumbrado público.

Fuente: (MEER, 2015)

Se observa que con el cambio de un porcentaje de las luminarias de cada lugar, se logró un ahorro significativo de aproximadamente \$2 MM/año solo por concepto de energía no facturada, por lo cual es viable pensar que tener una visión de eficiencia energética con respecto del alumbrado público puede resultar de gran beneficio para nuestro país.

2.8. Características del alumbrado público en CNEL EP Guayaquil

De las reuniones que se realizó con la Unidad de Negocio CNEL EP Guayaquil, se obtuvo varios criterios que presentan la actualidad del alumbrado público en nuestra ciudad, los cuales se expresan a continuación.

En la actualidad CNEL EP en búsqueda de trabajar con tendencias europeas, se encuentra enfocado en el cambio de luminarias que funcionan bajo normas norte americanas, estas luminarias fueron colocadas años atrás cuando CNEL EP Guayaquil era una empresa privada y tenía el nombre de Empresa Eléctrica del Ecuador y sus administradores al ser norteamericanos se basaron en normas estadounidenses. Otro problema que maneja la unidad de negocio es la expansión irregular de la ciudad, lo cual causa una mala planificación de las luminarias, ya que se colocan postes de alumbrado con ciertas disposiciones pero al existir invasiones en los terrenos se crea la necesidad de colocar nuevos postes sin considerar la planificación anterior creando muchas veces la falta de uniformidad de las distancias de los postes de alumbrado público.

Estas zonas de antiguo crecimiento indiscriminado representan el 60 % de luminarias totales que maneja CNEL EP Guayaquil, siendo luminarias de 100 W a 160 W las

cuales no tienen un circuito independiente como se solicita para manejar una vida útil más prolongada para las luminarias, más aún en luminarias LED, las cuales para los ojos de la Unidad de Negocio no son un camino viable debido a la relación costo-beneficio que actualmente representan. Pensando en lo mencionado acerca de la expansión anormal, se creería que la tasa de crecimiento de lámparas de la empresa sería elevada pero a la actualidad, CNEL EP tiene una tasa de crecimiento de 3000 lámparas por año, siendo estas no solo luminarias nuevas que se colocan por motivos de expansión sino también lámparas que se cambian por mantenimiento ya que la ARCONEL manifiesta que máximo una luminaria puede tener siete años en funcionamiento. (ARCONEL 006/18, 2018)

Respecto a la tasa de crecimiento, un valor importante para una empresa encargada de alumbrado público es la tasa de falla de los dispositivos que controlan. En el año 2014, la empresa ESPOL Tech elaboró un levantamiento sobre el alumbrado público, el cual arrojó que CNEL EP tenía una tasa de falla del 10 %, este porcentaje de falla los colocaba fuera de la norma del MEER que indica que deben tener una tasa de falla máxima del 2 %. Después de 3 años, luego de un arduo trabajo se logró disminuir ese porcentaje a un valor de 1,16 % y manejando un índice de protección del 65 % disminuyendo los mantenimientos requeridos, siendo un logro rescatable para la empresa. (ARCONEL 005/14)

Otro punto en el cual la empresa se actualizó, es el hecho de manejar el simulador Dialux, esto lo tuvieron que realizar debido no solo a motivos de actualización, otro factor que aportó a este cambio fue el hecho de que el método que se utilizaba para la planificación no resultaba viable debido a problemas físicos, es decir se tenía que intervenir con la paralización de las calles donde se pensaba realizar el análisis de los nueve puntos.

Como notamos la Unidad de Negocio ha manejado varios problemas, muchos de los cuales se presentan de improviso o son causados por motivos externos, para lo cual CNEL EP Guayaquil trabaja arduamente para tratar de mantenerse dentro de los estatutos y brindar un buen servicio.

2.9. Gestión del alumbrado público

Un sistema de alumbrado público puede llegar a tener una gran extensión geográfica lo que hace bastante difícil poder garantizar niveles de calidad, fiabilidad y eficiencia del servicio. La instalación puede contar con una gran cantidad de puntos dispersados por toda la ciudad, por lo que es necesario controlar día a día el funcionamiento y realizar gestión. Con todo lo expuesto se vuelve problemático y a la vez tedioso realizar la localización de problemas de funcionamiento de algún componente o de la luminaria en sí, descubrir la avería y actuar de manera correctiva. Todo esto conlleva costos altos de tiempo y dinero.

Actualmente encontramos estas situaciones:

- Considerable consumo por la intervención.
- Alto costo de mantenimiento.
- Escaso control de gestión.

Bajo estas problemáticas evidenciadas se propone diferentes metodologías para el control del funcionamiento del sistema de alumbrado de acuerdo a su tipo de comunicación. A continuación, en la figura 2.14 se presenta un modelo del sistema de gestión inteligente aplicado al alumbrado público.

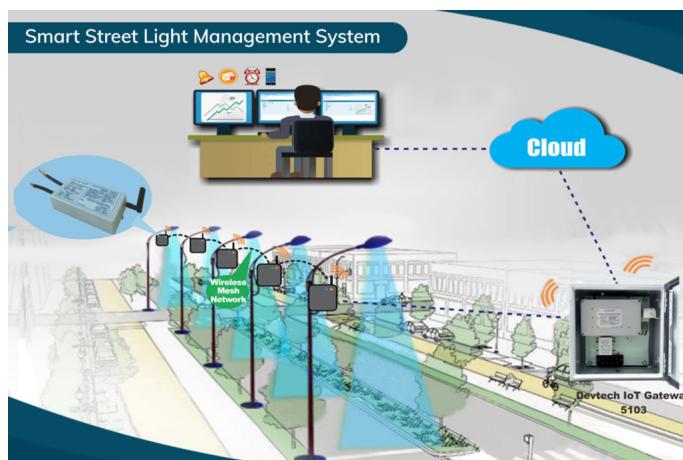


Figura 2.14: Sistema de gestión inteligente.

Fuente: (Devtech, 2018)

Este sistema de gestión y control será capaz de controlar la red sin alterar la instalación existente, además permitirá ser monitoreado únicamente con un solo operador que reducirá costos de empleo y por último garantizará mejores niveles de calidad, fiabilidad y continuidad del servicio. (McCollough Jr, 2008)

Algunas de las características principales que obtendremos son:

- Puede ser aplicable a sistemas ya existentes.
- Realiza gestión de cada punto de luz.
- Permite ahorro de energía y de mantenimiento.
- Mejora el servicio y calidad del alumbrado público.
- Alarga la vida útil de la instalación.
- Corto plazo de amortización.

Con la implementación de un sistema de telegestión en el alumbrado público se puede obtener los siguientes beneficios.

- Ahorros energéticos y económicos.
- Ahorro por costes de mantenimiento.
- Continuidad del servicio.

2.9.1. Comunicación en un sistema de telegestión

Los tres niveles de telegestión se relacionan mediante un sistema de telecomunicaciones, el mismo se encarga de la transmisión de la información desde el centro de control hacia las luminarias y desde los diferentes puntos de luminarias hacia el centro de control. En la actualidad existen varios métodos de comunicación pero los más utilizados son onda portadora (PLC) y comunicaciones inalámbricas como radio, wifi y telefonía celular.

Todas las señales obtenidas de cada uno de los componentes de las luminarias serán transmitidas mediante el módulo de comunicación al centro de control, ahí los operadores podrán acceder a los datos generados para determinar una rápida respuesta frente a eventualidades ocurridas.(Wu y col., 2010)

■ Onda Portadora

Los sistemas Power Line Communication (PLC) o también llamados onda portadora, aprovechan el cableado eléctrico como medio de comunicación con el sistema de alumbrado público, esta es una de las maneras más eficaces ya que no existe la necesidad de un cableado adicional.

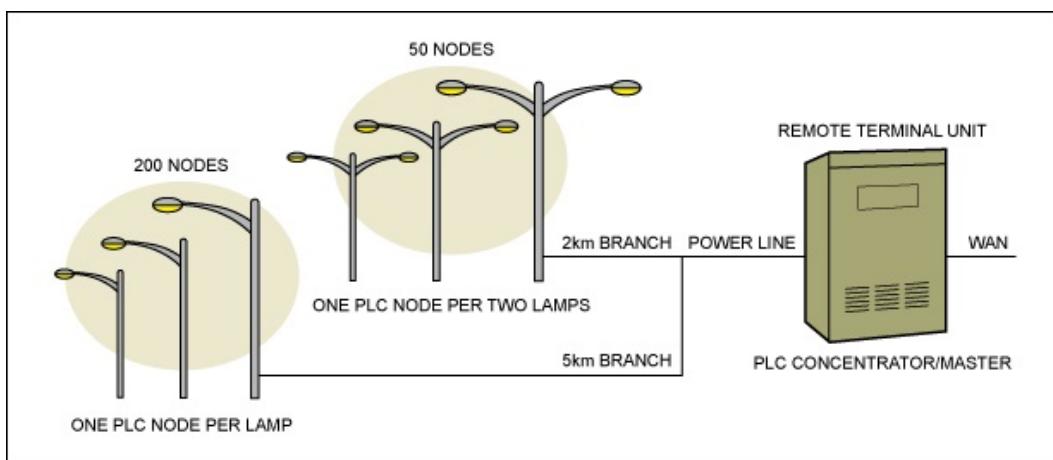


Figura 2.15: Comunicación mediante PLC.

Fuente: (Integrated, 2012)

La banda ancha sobre líneas eléctricas (BPL por sus siglas en inglés) representa el uso de tecnologías PLC que brindan acceso a internet a través de líneas ordinarias.

Las tecnologías de banda ancha tienen como inconveniente que las señales BPL no pueden atravesar fácilmente los transformadores (su alta inductancia actúa como filtro pasa bajos, dejando pasar únicamente las señales de baja frecuencia), por tal motivo se necesitan repetidores en los centros de distribución.

Un segundo inconveniente es la frecuencia de operación, se espera que el sistema trabaje en una banda de entre 10 y 30 MHz, que es utilizada por radio aficionados, lo que llegaría a producir interferencia.

■ Redes inalámbricas

Esta red de comunicación inalámbrica permite crear un sistema de telegestión sin la necesidad de construir un centro de control, en lugar de aquello se tendría la información a disposición en todo momento a través de un sitio web o un servidor en la nube.

Sistemas de control inalámbricos provee de manera ideal una "arteria" para un alumbrado público conectado haciendo las ciudades más inteligentes (smart cities) creando plataformas multiservicios con el fin de reducir costos de operación y mantenimiento. Algunas de las características son las siguientes:

- Control remoto y programación.
- Interacción GPS para una fácil administración.
- Mejora en la medición de energía.

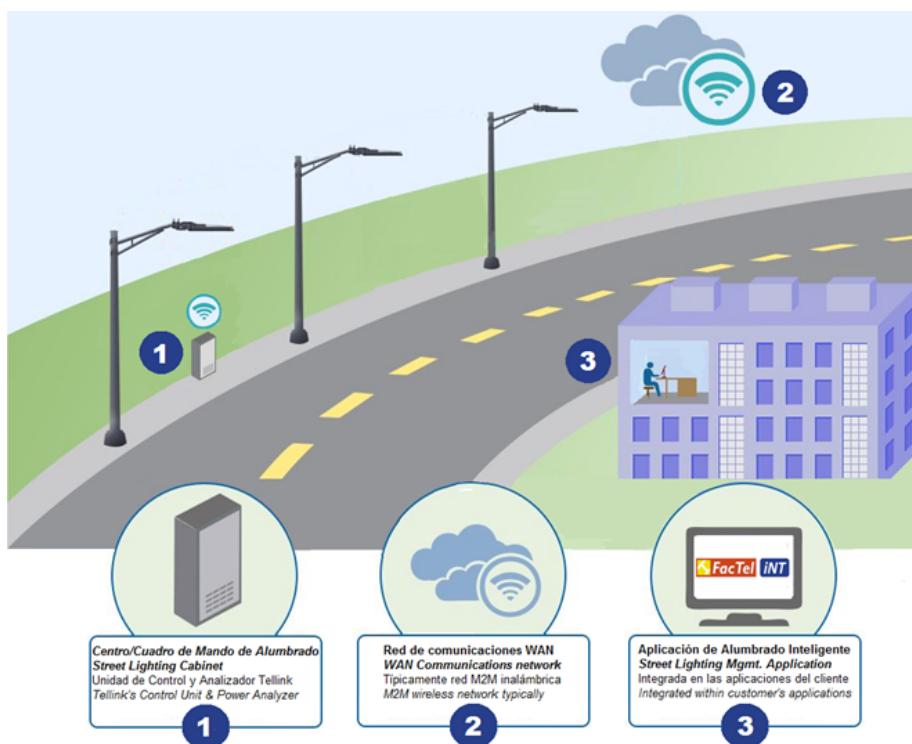


Figura 2.16: Modelo de comunicación inalámbrica.

Fuente: Integrated, 2012

En la figura 2.16 podemos observar un modelo de gestión inalámbrica con comunicación WAN.

2.10. Eficiencia energética

En base a lo manifestado en la página oficial de OLADE, se expresa la siguiente definición de eficiencia energética.

“La eficiencia energética corresponde a la capacidad para usar menos energía produciendo la misma cantidad de iluminación, calor y otros servicios energéticos.

Es un conjunto de acciones que permiten emplear la energía de manera óptima, incrementando la competitividad de las empresas, mejorando la calidad de vida, reduciendo costos y al mismo tiempo, limitando la producción de gases de efecto invernadero.”

Para lograr tener una política energética sostenible hay que pensar en la eficiencia energética y en la energía renovable como un trabajo conjunto, debido a que aplicar un fuerte proyecto de eficiencia energética puede generar un decremento en los recursos renovables que se deban aplicar para tener un mayor beneficio y una reducción de las emisiones de dióxido de carbono.

Con el fin de lograr un mayor beneficio y evitar las grandes emisiones de contaminantes se puede aplicar la eficiencia energética a los ámbitos mostrados en la figura 2.17.

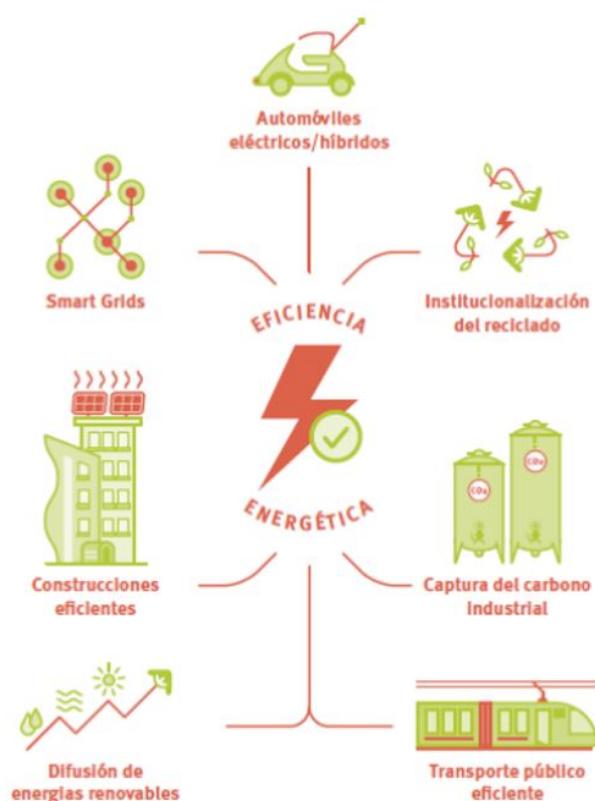


Figura 2.17: Campos de la eficiencia energética.

Fuente: (Devtech, 2018)

De los cuales el que ha sido tomado como caso de estudio en este proyecto debido a la posibilidad de generar un ahorro energético y monetario a nivel estatal, es la aplicación de eficiencia energética para construcciones eficientes, específicamente el estudio de las condiciones de las lámparas de alumbrado exterior de carreteras y avenidas.

2.11. Simulador DIALux

DIALux es un programa libre desarrollado por DIAL GmbH, el cual permite crear de manera sencilla distintos proyecto de iluminación. Esta herramienta facilita la tarea a la hora de diseñar iluminación tanto exterior como interior. La mayoría de los fabricantes de luminarias ofrecen datos de sus productos en forma de módulos (plugins), para su uso en DIALux. Además también el programa nos determina de forma paralela el consumo energético de forma que cumpla con normativas internacionales. Como se ha mencionado, DIALux experimenta constantemente un mayor desarrollo y cumple con los requisitos del diseño de iluminación moderno, es compatible con muchas interfaces abiertas y formatos de archivo como IFC, STF, DWG, DXF, IES o LDT. Así, por ejemplo, puede utilizar cómodamente datos de un software de CAD diferente y crear un diseño de iluminación en DIALux y finalmente, exporte sus resultados para documentación.

2.11.1. Descripción del programa

Dialux tiene una interface amigable, dividiendo de modo simple las posibles aplicaciones de iluminación, con herramientas intuitivas y de fácil acceso, cuenta con tres secciones: el espacio de trabajo, el administrador de proyectos y la sección guía. Como es la primera vez que se utiliza el programa, se recomienda crear sus primeros proyectos con la ayuda del asistente.

En la figura 2.18 se observa una primera vista al momento de ingresar al programa de iluminación, en el cual nos da la opción de abrir un antiguo proyecto, iniciar uno nuevo tanto de interiores como exteriores o un nuevo proyecto de calle.

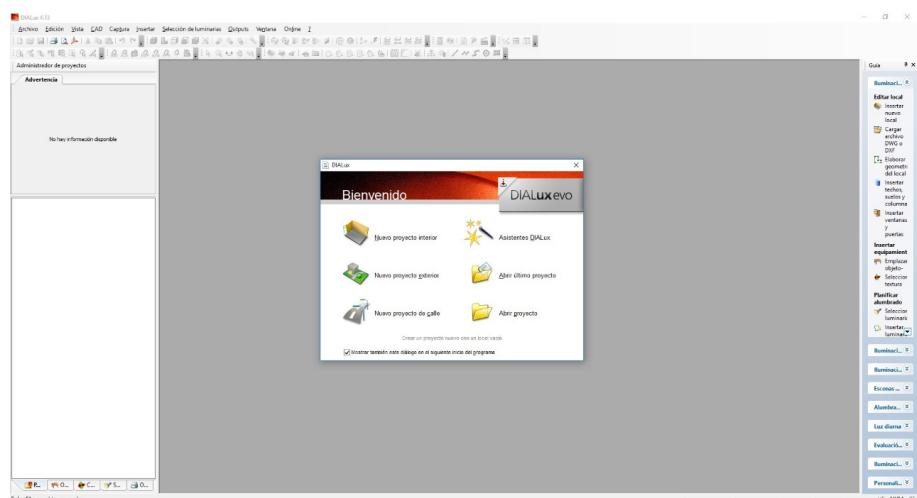


Figura 2.18: DIALux

La figura 2.19 es la hoja inicial de un proyecto interior que el programa nos da para poder trabajar y proyectar o recrear sobre él el ambiente donde se ubicarán las

luminarias. Además de este plano en 2D también se tiene simulaciones 3D en la cual se podrá observar a detalle el flujo luminoso y demás parámetros a regular.

En esta imagen se encuentra la barra de herramientas y todos los accesos directos que se incluyen de manera predeterminada en el programa. Esto nos facilita la rápida selección de los diferentes comandos del programa.

Aquí se observa en la figura 2.19 el catálogo completo de marca y modelo de luminarias que incluyen en el programa, estos son vínculos que nos llevarán a las páginas oficiales de las marcas donde directamente podremos descargar los módulos con los paquetes de las luminarias.

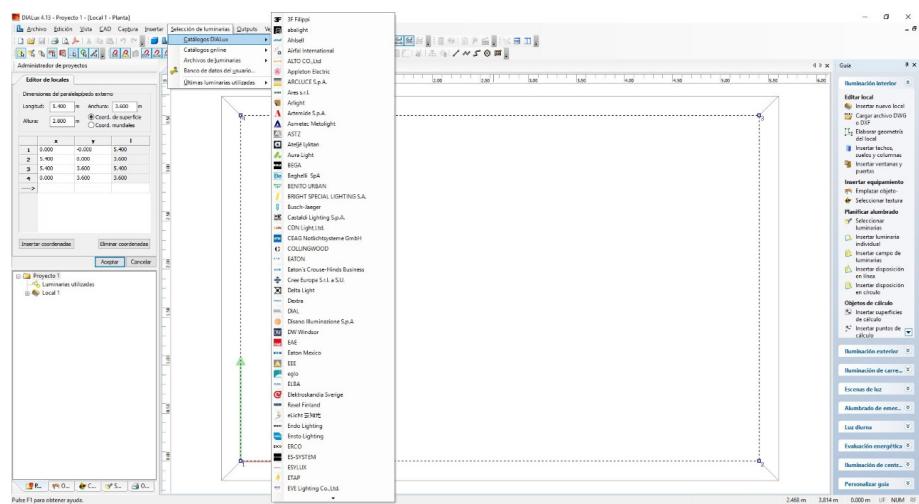


Figura 2.19: Catálogo de DIALux.

Capítulo 3

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se cubre la metodología para la evaluación, análisis, cálculo luminotécnico y clasificación energética, con lo cual se podrá constatar el cumplimiento de las normas técnicas y en qué nivel de etiquetado de eficiencia energética se encuentra la vía de alumbrado público.

Mediante el programa DIALux, se simulará la vía considerando los factores técnicos más importantes de la misma (altura, distancia, potencia, ángulo de las luminarias, etc.), además se realizarán los cálculos luminotécnicos y de clasificación energética basándonos en normas europeas.

Para este proceso seguiremos las siguientes acciones:

1. Definir el área de estudio.
2. Obtener todas las características de carácter civil y del alumbrado público del área.
3. Realizar el estudio luminotécnico siguiendo las directrices del ITC EA-02.
4. Una vez aprobado los requisitos técnicos normativos, se procederá a realizar el cálculo de la eficiencia en la instalación.

Como ejemplo modelo, se ha considerado la avenida Agustín Freire, siendo esta una vía representativa de la ciudad, tomando en cuenta varios factores:

- Características de la vía.
- Disposición de las luminarias.
- Características de las luminarias, etc.

3.1. Ejemplo aplicado

Se utilizó la calle Agustín Freire Icaza partiendo desde la intersección con la avenida Antonio Parra Velasco hasta la avenida Isidro Ayora. En la figura 3.1 se muestra la ubicación de la citada vía.

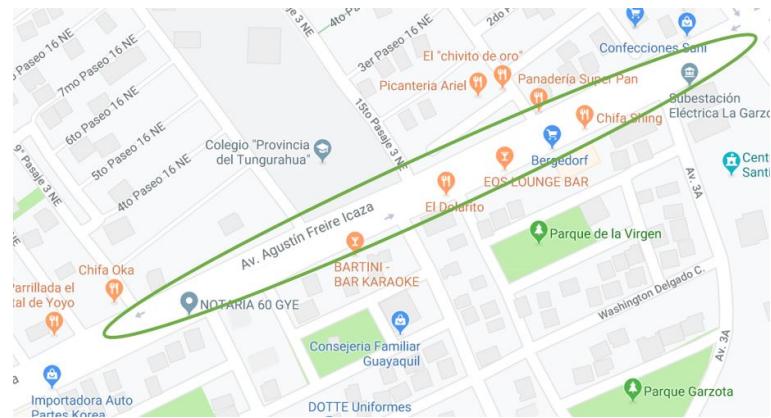


Figura 3.1: Localización de la avenida Agustín Freire.

3.1.1. Características de la avenida

Para la presente vía se ha tomado un tramo de 4 cuadras, equivalente a una longitud de aproximadamente 225 metros, la cual ha sido recreada en la figura 3.2.

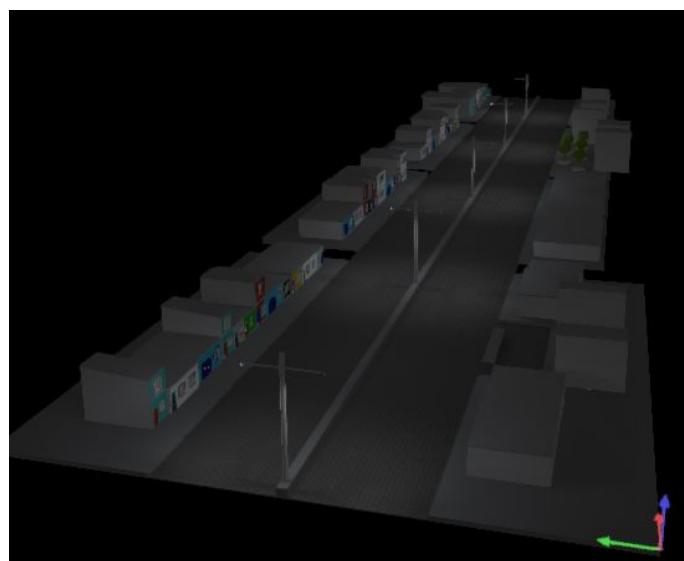


Figura 3.2: Recreación de la avenida Agustín Freire.

De la inspección técnica de la vía, se logró observar una disposición central con doble brazo, con una distancia promedio entre los postes de alumbrado de 49 metros, de esta visita también se obtuvieron los datos observados en el cuadro 3.1.

3.1. Ejemplo aplicado

Características civiles de la avenida	
Longitud del tramo	225,71 m
Distancia promedio entre postes	49 m
Ancho de la calzada	12 m
Ancho de la acera	2 m
Altura aprox del poste	11 m
Longitud del brazo	3,5 m
Inclinacion de la luminaria	0

Cuadro 3.1: Datos de la avenida Agustín Freire.

A continuación, en la figura 3.3, se presenta la disposición de planta de la vía, con ella se logra obtener una mejor apreciación de los postes de alumbrado.

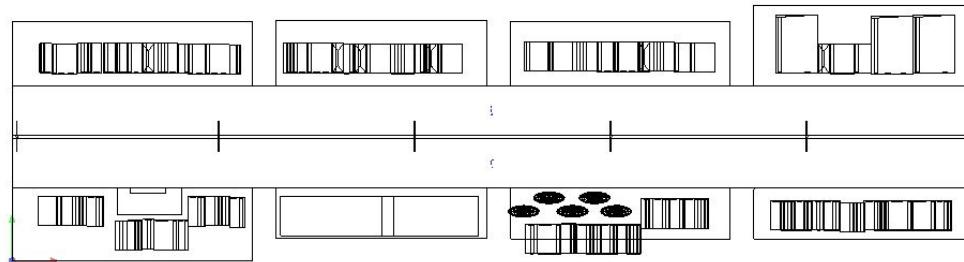


Figura 3.3: Distribución de postes de la avenida Agustín Freire.

Además, se observó la característica de moderada velocidad de la vía, con presencia de peatones y un alto tráfico vehicular, por lo cual en el cuadro 2.11 se selecciona el tipo de vía B, que es de una velocidad de circulación que va desde 30 a 60 km/h. Una vez seleccionado el tipo de vía, se aplican las tablas de clases de alumbrado para las vías del apéndice A, para calificar el proyecto y la clase de alumbrado según el flujo vehicular. Para este caso se ha considerado una situación del tipo A3, y a su vez una clase de alumbrado con un prefijo ME3b, dado que el flujo vehicular es poco más de 7000 y menor a 15000 vehículos por día. Con lo mencionado, y complementando con los datos del cuadro 3.2, se obtienen los aspectos generales de la vía.

Aspectos generales de la avenida	
Tipo de vía (Clasificación)	B
Tipo de pavimento	Hormigón
Número de postes del tramo	5
Intersecciones	3

Cuadro 3.2: Aspectos generales de la avenida Agustín Freire.

El indicador ME3b presenta un valor de luminancia promedio de 1 lm según se observa en la tabla 6 del apéndice B, este valor es 15 lux, que resulta de multiplicar la cantidad de lumens por el parámetro R del suelo, tomando típicamente un valor de 15. El indicador ME3b también nos señala el valor de uniformidad media mínima, siendo éste el valor de 0,40, como se muestra en la tabla 6 del apéndice B. En el cuadro 3.3, se describen las características técnicas mínimas que debe tener la citada vía.

Clasificación y requerimiento lumínicos de la vía			
Situación de proyecto	A3	Iluminancia media máxima	15 lux
Clase de alumbrado	ME3b	Uniformidad media mínima	0,40

Cuadro 3.3: Clase de alumbrado y niveles de iluminación de la avenida Agustín Freire.

Una vez obtenidos los datos de la clasificación y requerimientos lumínicos de la vía, se procede a realizar el estudio luminotécnico.

3.1.2. Estudio luminotécnico de la avenida Agustín Freire

Para el estudio luminotécnico primero necesitaremos las características de las luminarias instaladas, las cuales mediante los datos brindados por CNEL EP-Guayaquil, se constató que se trataba de lámparas marca SKYLINE STREET L LED de la marca Sylvania, cuyas especificaciones técnicas se presentan en el cuadro 3.4.

Características de las luminarias	
Tipo de lámpara	LED
Potencia	147
Flujo (lum)	16307
IP	65
Factor de mantenimiento	0,8

Cuadro 3.4: Características de las luminarias de la avenida Agustín Freire.

Con los datos mencionados con anterioridad, se procedió a realizar la simulación en DIALux donde se obtuvieron los resultados ilustrados en las figuras 3.4 y 3.5.

3.1. Ejemplo aplicado

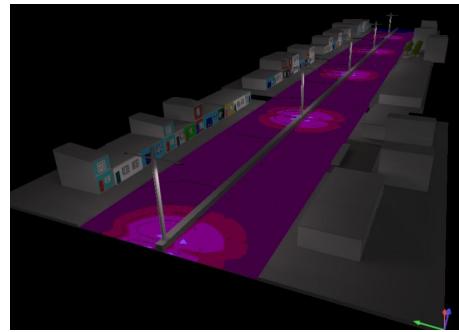


Figura 3.4: Simulación de la avenida Agustín Freire.

En la figura 3.4, se logra apreciar una muy escasa iluminación en la zona, por lo cual se la podría considerar como inadecuada, así mismo, en la figura 3.5 se presenta la curva isolux para apreciar de mejor manera las áreas con mayor impacto lumínico de la vía Agustín Freire.

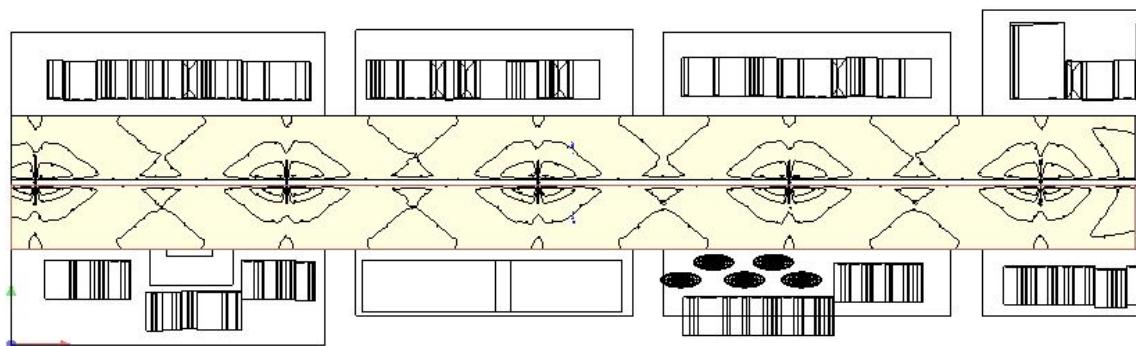


Figura 3.5: Disposición isolux de la avenida Agustín Freire.

Mediante las curvas isolux, se observa la distribución de la iluminancia, si bien se presenta de manera uniforme, con la simulación se verificará si se cumplen los parámetros técnicos necesarios.

A través de la simulación, se obtuvieron los lúmenes estimados en la vía, los cuales si bien superan el margen de lúmenes, presentando un valor promedio de 1,03 lm en la vía, cuando se requiere al menos 1 lm (ver cuadro 3.3), no supera los valores de uniformidad media mínima presentando un valor de 0,28 sin alcanzar el valor requerido de 0,40, lo cual se verá reflejado en un potencial efecto cebra en la vía.

Recuadro de evaluación (M3)		Calzada 1 (M3)		
Lm	[cd/m ²]	<input checked="" type="checkbox"/> ≥	1.00	1.03 ✓
Uo		<input checked="" type="checkbox"/> ≥	0.40	0.28 ✗
UI		<input checked="" type="checkbox"/> ≥	0.60	0.25 ✗
TI		<input checked="" type="checkbox"/> ≤	15	20 ✗

Figura 3.6: Valores de iluminancia de la avenida Agustín Freire.

Al no cumplir con las características técnicas necesarias para el tipo de avenida, se debe buscar una alternativa para alcanzar los valores establecidos, tal como se menciona en la norma ITC-02. En la figura 3.7, se muestra el diagrama recomendado para el análisis luminotécnico y de eficiencia energética de una vía.

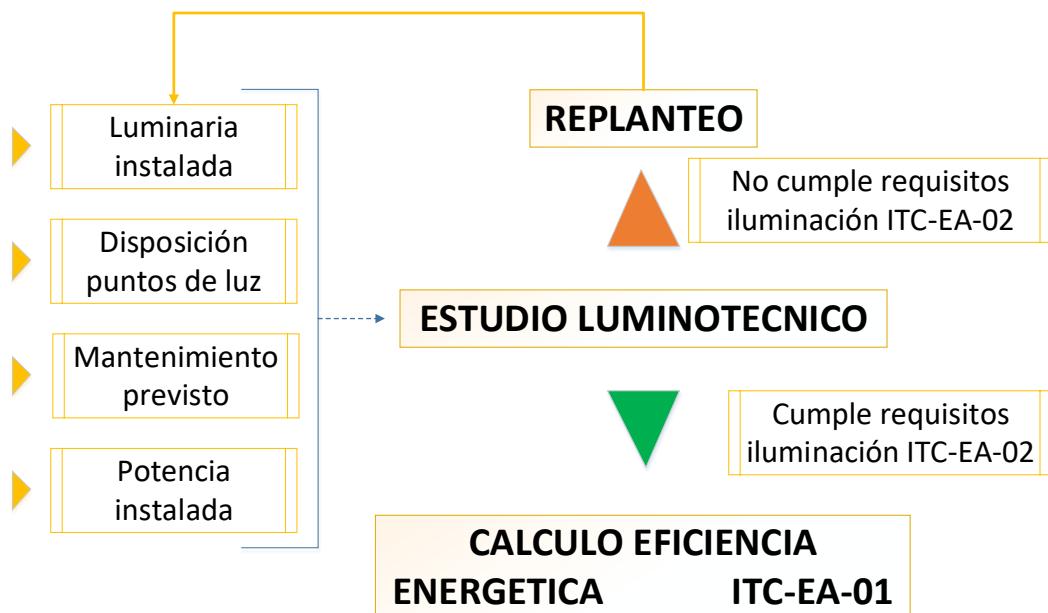


Figura 3.7: Diagrama para proceso de análisis luminotécnico y de eficiencia.
MINCOTUR, 2008

La primera opción pensada para mejorar la iluminación de la citada vía, es el intercambio de luminarias debido a que es la opción más sencilla a primera vista. Se realizó el cambio a unas luminarias LUG URBANO LED, donde, en el cuadro 3.5, se presentan las características de las mismas.

Características de las luminarias

Tipo de lámpara	LED
Potencia	200
Flujo (lum)	22500
IP	65
Factor de mantenimiento	0,8

Cuadro 3.5: Características de luminarias propuestas en la avenida Agustín Freire.

Una vez realizado el reemplazo de las luminarias de 147 W LED por 200 W LED, se observa en la figura 3.8 que se supera el valor de flujo luminoso obteniendo un

3.1. Ejemplo aplicado

valor de 1,28 lm equivalente a 19,2 lx, lo cual indica una correcta opción para la mejora del alumbrado de la vía.

Recuadro de evaluación (M3)		Calzada 1 (M3)		
Lm	[cd/m ²]	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 1.00	1.28	✓
Uo		<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.40	0.44	✓
UI		<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.60	0.69	✓
TI		<input checked="" type="checkbox"/> ≤ 15	15	✓

Figura 3.8: Valores de iluminancia mejorada de la avenida Agustín Freire.

En el cuadro 3.6 se puede observar la comparación entre la situación actual y la vía con las mejoras propuestas.

	Actual	Propuesto	E medio requerido	Uniformidad requerida
Tecnología	LED	LED		
Potencia (W)	147	200		
E media (lx)	15,45	19,2	15	0,40
U. media (U0)	0,28	0,44		

Cuadro 3.6: Comparación entre situación actual y propuesta para la avenida Agustín Freire.

Con la repotenciación de las lámparas, se logra observar que se cumple con los valores de iluminancia, no obstante, hay que tener presente que también se debe cumplir el valor de uniformidad media mínima y evitar el efecto cebra.

3.1.3. Cálculo de eficiencia energética

Una vez que se ha cumplido con las características técnicas necesarias para el tipo de avenida, se procede a calcular el nivel de eficiencia. Este análisis se realizará por cada sentido de vía, debido a que presentan iguales características, la resolución es aplicable para ambos sentidos de la avenida. Para realizar el cálculo es necesario contar con variables como la superficie iluminada, la iluminancia media y la potencia instalada.

Potencia total instalada (W)	Superficie a iluminar (m ²)	Iluminancia media de la instalación (lx)
1000	2708,56	19,2

Cuadro 3.7: Datos para calcular la eficiencia de la avenida Agustín Freire.

Con la presencia de estos datos en el cuadro anterior se procede como acción siguiente el cálculo de eficiencia energética de la instalación usando la ecuación 2.9.

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P}$$

$$\varepsilon = \frac{(2708,56)(19,2)}{1000}$$

$$\varepsilon = 52,00$$

Eficiencia de la instalación	
Eficiencia ε	52,00

Cuadro 3.8: Eficiencia energética de la instalación de la avenida Agustín Freire.

Una vez obtenido el valor de la eficiencia en la instalación o el área de estudio, se verifica si ese valor obtenido cumple con el requisito mínimo según la cantidad de luxes de acuerdo al cuadro 2.8. Como el valor de iluminancia media de la instalación de 19,2 lux no se encuentra en el cuadro 2.8, se procedió con una interpolación lineal, teniendo como resultado el valor de eficiencia mínima mostrado en el cuadro 3.9.

Eficiencia mínima requerida		
Eficiencia actual	Eficiencia mínima	Cumple
52,00	17,1	SÍ

Cuadro 3.9: Cumplimiento de la eficiencia requerida de la avenida Agustín Freire.

Como se muestra en el cuadro 3.9, la eficiencia actual de la vía (52,00), es superior a la eficiencia mínima (17,1), por lo cual, la vía estudiada si cumple con el nivel de eficiencia.

3.1.4. Clasificación energética de la instalación

Como última acción, en este apartado se procederá a calcular el índice de eficiencia energética, para lo cual se usará la ecuación 2.10 y el cuadro 2.9. Como el valor de 19,2 lux de iluminancia media no se encuentra en el cuadro 2.9, se procederá con el cálculo por regresión lineal. Entonces para un valor de 19,2 lux se obtendrá una eficiencia energética en referencia ε_R de 25,52.

A continuación, se procederá con el valor ε_R encontrado a calcular el índice de eficiencia, para lo cual se usará la ecuación 2.10.

3.1. Ejemplo aplicado

$$I_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}$$

$$I_{\varepsilon} = \frac{52,00}{25,52}$$

Indice de eficiencia obtenido $I_{\varepsilon} = 2,03$

Con el índice de eficiencia obtenido, se aplica el cuadro 2.10 para ver en qué rango está categorizada la iluminación de alumbrado público de la vía, del citado análisis se evidencia que la vía tiene una categoría energética A, lo cual representa un alumbrado público muy eficiente.

Calificación energética A

Capítulo 4

CASOS DE ESTUDIO

En el presente capítulo abarcaremos tres tipos de vías en la ciudad de Guayaquil, las cuales están clasificadas en calles secundarias, avenidas y perimetrales, para los tres tipos de vías se seleccionó un ejemplo aplicado de cada una.

4.1. Caso 1: Iluminación en calle secundaria

Como se ilustra en la figura 4.1, se tomó como muestra la calle secundaria La A, tomando el tramo desde la calle Leonidas Plaza hasta la calle Coronel Jesús Reyes.

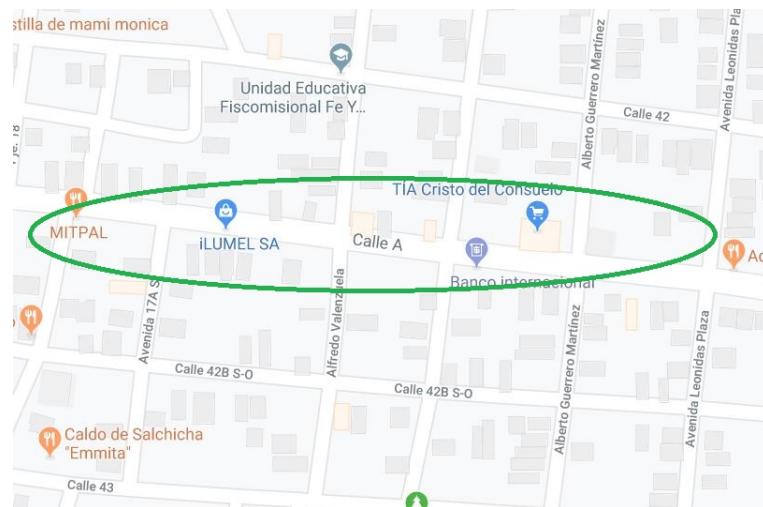


Figura 4.1: Localización de la calle secundaria La A.

4.1.1. Características generales de la vía

En este caso de estudio, se ha tomado un tramo de 4 cuadras, equivalente a una longitud de aproximadamente 223 metros, el cual ha sido recreado en la figura 4.2.

4.1. Caso 1: Iluminación en calle secundaria

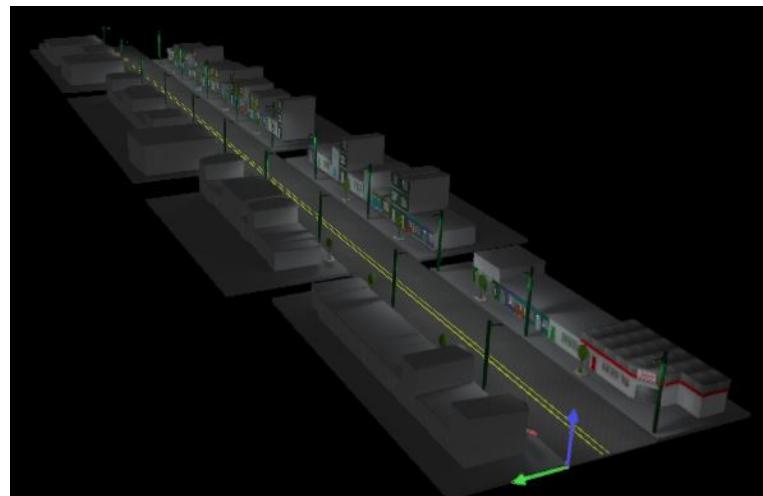


Figura 4.2: Recreación de la calle secundaria La A.

De la inspección técnica de la vía, se logró observar una disposición zig-zag, con una distancia promedio entre los postes de alumbrado de 21 metros, en esta visita también se lograron observar los datos del cuadro 4.1.

Características civiles de la avenida

Longitud del tramo	222,63 m
Distancia promedio entre postes	21 m
Ancho de la calzada	12 m
Ancho de la acera	2,5 m
Altura aprox del poste	10 m
Longitud del brazo	1 m
Inclinación de la luminaria	0

Cuadro 4.1: Datos de la calle secundaria La A.

A continuación, en la figura 4.3, se presenta la disposición de planta de la vía, con el fin de tener una mejor apreciación de los postes de alumbrado.

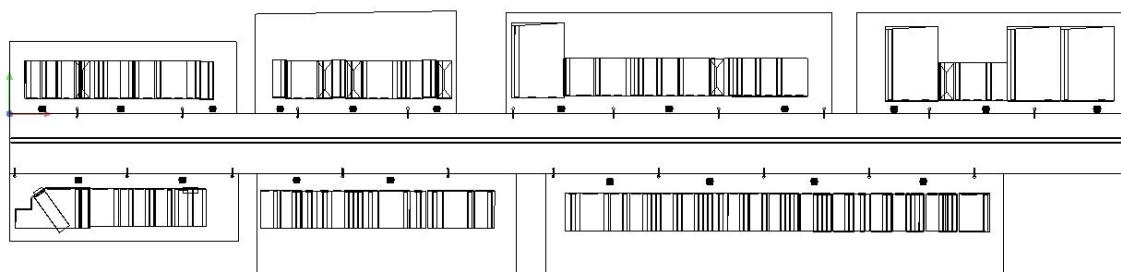


Figura 4.3: Distribución de postes de la calle secundaria La A.

Además, se observó la peculiaridad de moderada velocidad, con presencia de peatones, por lo cual en el cuadro 2.11 se selecciona el tipo de vía B, que es de una

velocidad de circulación que va desde 30 a 60 km/h, una vez seleccionado el tipo de vía, se aplican las tablas de clases de alumbrado correspondientes al apéndice A, para caracterizar el proyecto y la clase de alumbrado según el flujo vehicular. Para este caso se considera una situación del tipo B1, y a su vez una clase de alumbrado con un prefijo ME3c, dado que el flujo vehicular es poco más de 7000 vehículos por día. Con lo mencionado, y complementando con los datos del cuadro 4.2, se obtienen los aspectos generales de la vía.

Aspectos generales de la vía	
Tipo de vía (Clasificación)	B
Tipo de pavimento	Hormigón
Número de postes del tramo	10
Intersecciones	4

Cuadro 4.2: Aspectos generales de la calle secundaria La A.

El indicador ME3c señala un valor de luminancia promedio de 1 lm según se observa en la tabla 6 del apéndice B, este valor es equivalente a 15 lux, que resulta de la multiplicación de la cantidad de lúmenes por el coeficiente R del pavimento, adquiriendo un valor de 15 cuando se desconozca el mismo. El indicador ME3c también nos señala el valor de uniformidad media mínima, siendo éste el valor de 0,40, como se muestra en la tabla 6 del apéndice B. En el cuadro 4.3, se describen las características técnicas mínimas que debe tener la citada vía.

Clasificación y requerimiento lumínicos de la vía			
Situación de proyecto	B1	Iluminancia media máxima	15 lux
Clase de alumbrado	ME3c	Uniformidad media mínima	0,40

Cuadro 4.3: Clase de alumbrado y niveles de iluminación de la calle secundaria La A.

Una vez obtenidos los datos de la clasificación y requerimientos lumínicos de la vía, se procede a realizar el estudio luminotécnico.

4.1.2. Estudio luminotécnico de la calle secundaria

Para el estudio luminotécnico se necesitan las características de las luminarias instaladas, las cuales mediante los datos brindados por CNEL EP-Guayaquil, se constató que se trataba de lámparas marca OSRAM NAV-T, cuyas especificaciones técnicas se presentan en el cuadro 4.4.

4.1. Caso 1: Iluminación en calle secundaria

Características de las luminarias	
Tipo de lámpara	Vapor de sodio
Potencia	150
Flujo (lum)	11423
Color (k)	5000
IP	65
Factor de mantenimiento	0,8

Cuadro 4.4: Características de las luminarias de la calle secundaria La A.

Con los datos mencionados con anterioridad, se procedió a realizar la simulación en DIALux donde se obtuvieron los resultados ilustrados en las figuras 4.4 y 4.5.

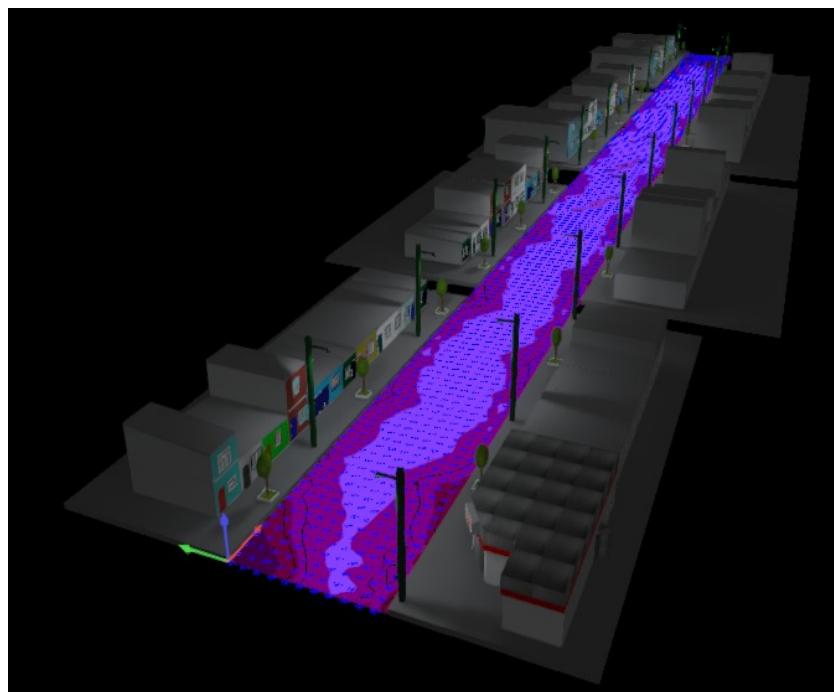


Figura 4.4: Simulación de la calle secundaria La A.

En la figura 4.4, se logra apreciar una aparente buena iluminación en la zona, así mismo, en la figura 4.5 se presenta la curva isolux, donde se podrá apreciar de mejor manera las áreas con mayor impacto lumínico de la calle secundaria La A.

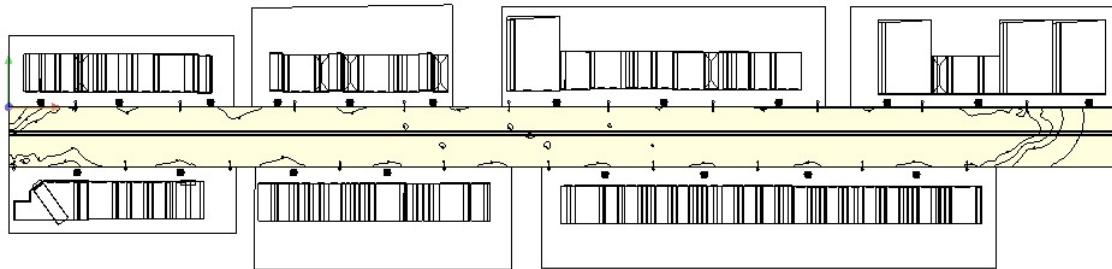


Figura 4.5: Disposición isolux de la calle secundaria La A.

Mediante las curvas isolux, se aprecia la distribución de la iluminancia, con el cálculo analítico de la simulación se podrá verificar si se cumplen los parámetros técnicos necesarios.

A través de la simulación, se obtuvieron los lúmenes estimados en la vía, los cuales superan el margen de iluminancia promedio, presentando un valor de 2,16 lm en la vía, cuando se requiere solo 1 lm, también se observa que se logra superar el valor de uniformidad media mínima, llegando a tener 0,79 (ver figura 4.6).

Recuadro de evaluación (M3)	Calzada 1 (M3)		
Lm [cd/m ²]	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 1.00	2.16	✓
Uo	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.40	0.79	✓
UI	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.60	0.83	✓
TI	<input checked="" type="checkbox"/> ≤ 15	9	✓
EIR	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.30	0.51	✓

Figura 4.6: Valores de iluminancia de la calle secundaria La A.

4.1.3. Cálculo de eficiencia energética de la instalación

Dado que se ha cumplido con las características técnicas necesarias para el tipo de vía, se procede a calcular el nivel de eficiencia, para lo cual es necesario contar con variables como la superficie iluminada, la iluminancia media y la potencia instalada.

Potencia total instalada (W)	Superficie a iluminar (m ²)	Iluminancia media de la instalación (Ix)
3000	2671,60	32,4

Cuadro 4.5: Datos para calcular la eficiencia de la calle secundaria La A.

4.1. Caso 1: Iluminación en calle secundaria

Con la presencia de los datos del cuadro 4.5, se procede con el cálculo de eficiencia energética de la instalación usando la ecuación 2.9, del cual se observa la eficiencia de la instalación del cuadro 4.6.

Eficiencia de la instalación	
Eficiencia ϵ	28,85

Cuadro 4.6: Eficiencia energética de la instalación de la calle secundaria La A.

Una vez adquirido el valor de la eficiencia en el área de estudio, se verifica si el valor obtenido cumple con el requisito mínimo según la cantidad de luxes de acuerdo al cuadro 2.8. Como el valor de 32,4 lux es mayor al máximo en la iluminancia media en servicio (cuadro 2.8), se selecciona el valor $\epsilon = 22$, en eficiencia energética mínima, lo cual es expuesto en el cuadro 4.7.

Eficiencia mínima requerida		
Eficiencia actual	Eficiencia mínima	Cumple
28,85	22	SI

Cuadro 4.7: Cumplimiento de la eficiencia requerida de la calle secundaria La A.

Como se logra apreciar en el cuadro 4.7, la eficiencia actual de la vía (28,85), es superior a la eficiencia mínima requerida (22), por lo cual, la vía en cuestión si cumple con el nivel de eficiencia.

4.1.4. Clasificación energética de la instalación

Luego de los análisis planteados con anterioridad se procederá a calcular el índice de eficiencia energética, para lo cual se usará la ecuación 2.10 y el cuadro 2.9. Dado que el valor de 32,4 lux de iluminancia media supera el valor máximo en el cuadro 2.9, se procederá a seleccionar el valor $\epsilon_R = 32$.

Se procede, a calcular el índice de eficiencia con el valor ϵ_R encontrado, para lo cual se usa la ecuación 2.10, obteniendo el valor que se presenta a continuación.

$$\text{Índice de eficiencia obtenido } Ie = 0,90$$

Con el índice de eficiencia obtenido, se aplica el cuadro 2.10 para verificar en qué rango está categorizada la iluminación de alumbrado público de la vía, lo cual evidencia que la vía tiene una categoría energética C, representando un alumbrado público con eficiencia media.

Calificación energética C

4.2. Caso 2: Iluminación en avenida

Se utilizó la calle García Moreno tomando el tramo desde la calle Aurora Estrada hasta la calle Francisco Segura. En la figura 4.7, se muestra la citada vía.

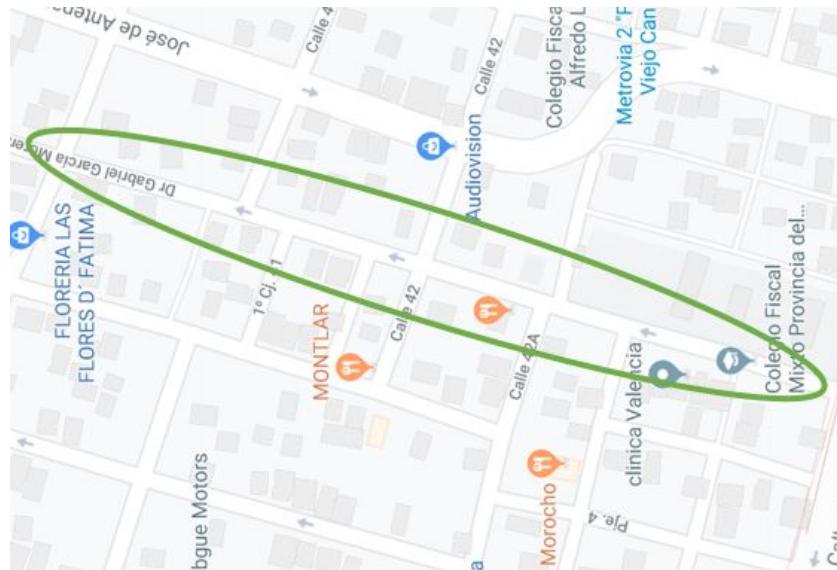


Figura 4.7: Localización de la avenida García Moreno.

4.2.1. Características generales de la vía

Para la vía de estudio del presente caso, se ha tomado un tramo de 4 cuadras, equivalente a una longitud de aproximadamente 117 metros, el cual ha sido recreado y se presenta en la figura 4.8.

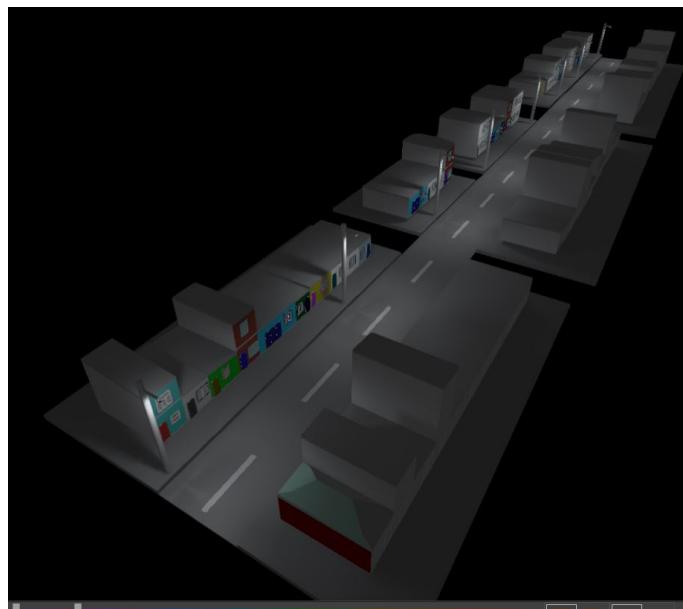


Figura 4.8: Recreación de la avenida García Moreno.

4.2. Caso 2: Iluminación en avenida

De la inspección técnica de la vía, se logró observar una disposición unilateral, con una distancia promedio entre los postes de alumbrado de 22 metros, de esta visita técnica también se obtuvieron los datos del cuadro 4.14.

Características civiles de la avenida	
Longitud del tramo	176,125 m
Distancia promedio entre postes	22 m
Ancho de la calzada	8 m
Ancho de la acera	2 m
Altura aprox del poste	9 m
Longitud del brazo	1 m
Inclinacion de la luminaria	0

Cuadro 4.8: Datos de la avenida García Moreno.

A continuación, en la figura 4.9, se presenta la disposición de planta de la vía, con ella logramos obtener una mejor apreciación de los postes de alumbrado.

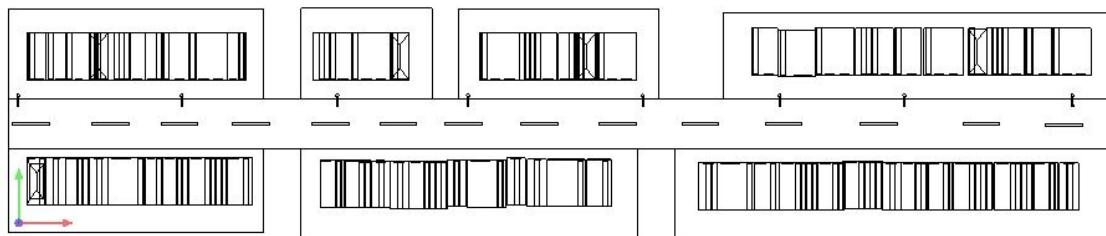


Figura 4.9: Disposición de postes de la avenida García Moreno.

Además, se observó la característica de moderada velocidad de la vía, con presencia de peatones y un moderado tráfico vehicular, por lo cual en el cuadro 2.11 se selecciona el tipo de vía B, que representa una velocidad de circulación que va desde 30 a 60 km/h. Una vez seleccionado el tipo de vía, se aplica la tabla correspondiente a clases de alumbrado ubicada en el apéndice A, para caracterizar el proyecto y la clase de alumbrado según el flujo vehicular. Para este caso se ha considerado una situación del tipo A3, y a su vez una clase de alumbrado con un prefijo ME2, dado que el flujo vehicular es poco más de 7000 vehículos por día. Con lo mencionado, y complementando con los datos del cuadro 4.9, se obtienen los aspectos generales de la vía.

Aspectos generales de la avenida	
Tipo de vía (Clasificación)	B
Tipo de pavimento	Asfalto
Número de postes del tramo	8
Intersecciones	3

Cuadro 4.9: Aspectos generales de la avenida García Moreno.

El indicador ME2 representa un valor de luminancia promedio de 1,5 lm según se observa en la tabla 6 del apéndice B, este valor es equivalente a 22,5 lux, que resulta de la operación de multiplicar la cantidad de lúmenes por el elemento R del pavimento, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca. El indicador ME2 también nos señala el valor de uniformidad media mínima, siendo éste el valor de 0,40, como se muestra en la tabla 6 del apéndice B. En el cuadro 4.10, se describen las características técnicas mínimas que debe tener la citada vía.

Clasificación y requerimiento lumínicos de la vía			
Situación de proyecto	A3	Iluminancia media máxima	22,5 lux
Clase de alumbrado	ME2	Uniformidad media mínima	0,40

Cuadro 4.10: Clase de alumbrado y niveles de iluminación de la avenida García Moreno.

Una vez obtenidos los datos de la clasificación y requerimientos lumínicos de la vía, se procede a realizar el estudio luminotécnico.

4.2.2. Estudio luminotécnico de la avenida

Para el estudio luminotécnico se necesitaran las características de las luminarias instaladas, las cuales mediante los datos brindados por CNEL EP-Guayaquil, se constató que se trataba de lámparas marca OSRAM NAV-T, cuyas especificaciones técnicas se presentan en el cuadro 4.11.

Características de las luminarias

Tipo de lámpara	Vapor de sodio
Potencia	150
Flujo (lum)	11423
IP	65
Factor de mantenimiento	0,8

Cuadro 4.11: Características de las luminarias de la avenida García Moreno.

Con los datos mencionados con anterioridad, se procedió a realizar la simulación en DIALux donde se obtuvieron los resultados ilustrados en las figuras 4.10 y 4.11.

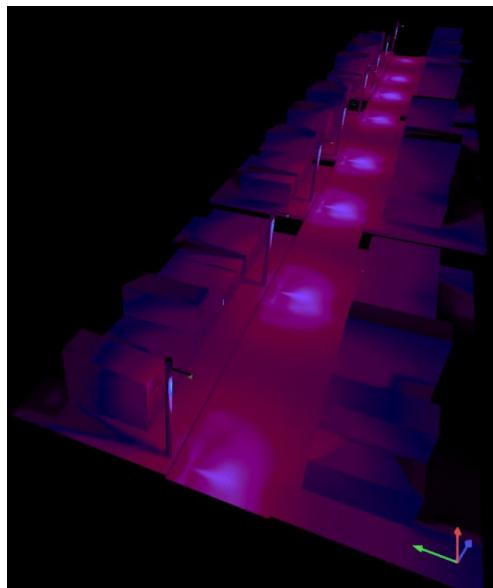


Figura 4.10: Simulación de la avenida García Moreno.

En la figura 4.10, se logra apreciar una aparente buena iluminación en la zona, así mismo en la figura 4.11, se presenta la curva isolux para apreciar de mejor manera las áreas con mayor impacto lumínico de la avenida García Moreno.

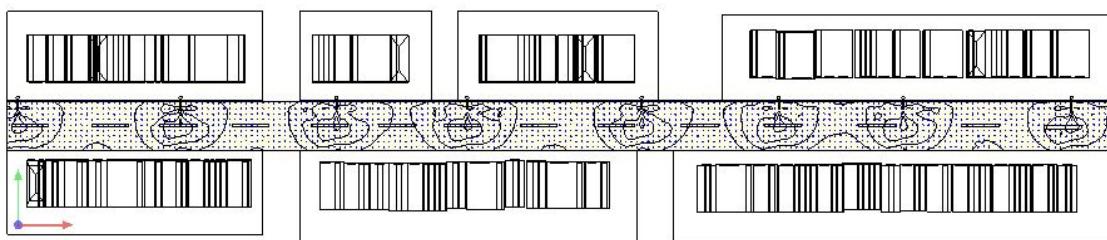


Figura 4.11: Disposición isolux de la avenida García Moreno.

Mediante las curvas isolux, se observa la distribución de la iluminancia, si bien se logra apreciar uniformidad, con la simulación se verificará si se cumplen los

parámetros técnicos necesarios. A través de la simulación, se obtuvieron los lúmenes estimados en la vía, los cuales no superan el margen de flujo luminoso, presentando un valor promedio de 1,38 lm (20,7 lx) en el máximo punto alcanzado en la vía, cuando se requiere al menos 1,5 lm (ver figura 4.12).

Recuadro de evaluación (M2)	Calzada 1 (M2)
Lm	[cd/m ²] <input checked="" type="checkbox"/> ≥ 1.50 1.38 ✗
Uo	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.40 0.48 ✓
UI	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.70 0.67 ✗
PI	<input checked="" type="checkbox"/> ≤ 10 9 ✓

Figura 4.12: Valores de iluminancia de la avenida García Moreno.

Al no cumplir con las características técnicas necesarias para el tipo de avenida, se debe buscar una alternativa para llegar a cumplir con los valores establecidos. Se realizó el cambio a unas luminarias Light Factory Urbino Twilight LED. En el cuadro 4.12 se presentan las características de las mismas.

Características de las luminarias

Tipo de lámpara	LED
Potencia	106
Flujo (lum)	12100
IP	65
Factor de mantenimiento	0,8

Cuadro 4.12: Características de luminarias cambiadas de la avenida García Moreno.

Una vez realizado el reemplazo de las luminarias de 150 W de vapor de sodio por 106 W LED, se observa en la figura 4.13, que se supera el valor de iluminancia obteniendo un valor de 2,01 lm y un valor de uniformidad media de 0,68, con el cambio, lo cual indica una correcta opción para la mejora del alumbrado de la vía.

Recuadro de evaluación (M2)	Calzada 1 (M2)
Lm	[cd/m ²] <input checked="" type="checkbox"/> ≥ 1.50 2.01 ✓
Uo	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.40 0.68 ✓
UI	<input checked="" type="checkbox"/> ≥ 0.70 0.89 ✓
PI	<input checked="" type="checkbox"/> ≤ 10 8 ✓

Figura 4.13: Valores de iluminancia mejorada de la avenida García Moreno.

En el cuadro 4.13, se puede observar la comparación entre la situación actual y la vía con las mejoras propuestas.

En el cuadro 4.13, se logra observar que con las lámparas propuestas se cumplen los valores de iluminancia, y se mejora el valor de uniformidad media mínima.

	Actual	Propuesto	E medio requerido	Uniformidad requerida
Tecnología	LED	LED		
Potencia (W)	150	106		
E media (lx)	20,7	30,15	15	0,40
U media (U0)	0,48	0,68		

Cuadro 4.13: Comparación entre situación actual y propuesta para la avenida García Moreno.

4.2.3. Cálculo de eficiencia energética de la instalación

Una vez que se ha cumplido con las características técnicas necesarias para el tipo de vía, se procede a calcular el nivel de eficiencia, para lo cual es necesario contar con variables como la superficie iluminada, la iluminancia media y la potencia instalada, las cuales se presentan en el cuadro 4.14.

Potencia total instalada (W)	Superficie a iluminar (m ²)	Iluminancia media de la instalación (lx)
848	1409	30,15

Cuadro 4.14: Datos para calcular la eficiencia de la avenida García Moreno.

Con la presencia de los datos del cuadro 4.14, se procede con el cálculo de eficiencia energética de la instalación usando la ecuación 2.9.

Eficiencia de la instalación	
Eficiencia ϵ	50,09

Cuadro 4.15: Eficiencia energética de la instalación de la avenida García Moreno.

Una vez obtenido el valor de la eficiencia en el área de estudio, se verifica si el valor obtenido cumple con el requisito mínimo según la cantidad de luxes de acuerdo al cuadro 2.8. Como el valor de 30,15 lux es mayor al máximo en la iluminancia media en servicio del cuadro 2.8, se selecciona el valor $\epsilon = 22$ en eficiencia energética mínima, dando como el resultado lo expuesto en el cuadro 4.16.

Eficiencia mínima requerida		
Eficiencia actual	Eficiencia mínima	Cumple
50,09	22	SI

Cuadro 4.16: Cumplimiento de la eficiencia requerida de la avenida García Moreno.

Como se muestra en el cuadro 4.16, la eficiencia actual (50,09) supera la eficiencia mínima requerida (22), por lo cual, la vía si cumple con el nivel de eficiencia requerida.

4.2.4. Clasificación energética de la instalación

Como última acción, se procederá a calcular el índice de eficiencia energética, para lo cual se usará la ecuación 2.10 y el cuadro 2.9. Como el valor de 30,15 lux de iluminancia media supera el valor máximo en el cuadro 2.9, se procederá a seleccionar el valor $\varepsilon_R = 32$. Se procede, a calcular el índice de eficiencia con el valor ε_R encontrado, para lo cual se usa la ecuación 2.10, obteniendo el valor que se presenta a continuación.

Indice de eficiencia obtenido $Ie = 1,56$

Con el índice de eficiencia obtenido se debe consultar el cuadro 2.10 para apreciar en qué rango de calificación energética se encuentra la iluminación de alumbrado público de la vía, con los cambios propuestos se aprecia que la vía tiene una categoría energética A, lo cual representa un alumbrado público muy eficiente.

Calificación energética A

4.3. Caso 3: Iluminación en vía perimetral

Como se muestra en la figura 4.14, se tomó como muestra de vía perimetral una sección ubicada al sur de la ciudad.



Figura 4.14: Localización de la vía Perimetral.

4.3.1. Características generales de la vía

Para la presente vía, se ha tomado un tramo de 5 postes de alumbrado, equivalente a una longitud de aproximadamente 262 metros, el cual ha sido recreado en la figura 4.15.

4.3. Caso 3: Iluminación en vía perimetral

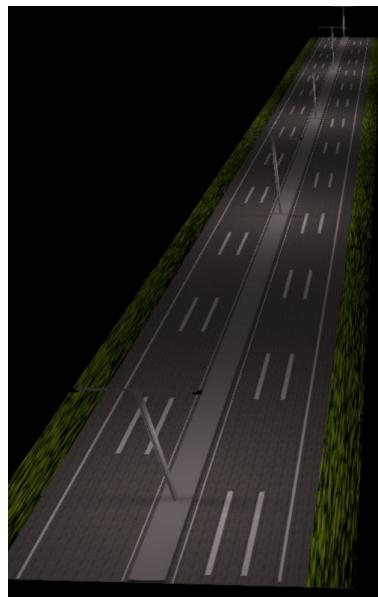


Figura 4.15: Recreación de la vía Perimetral.

De la inspección técnica de la vía, se logró observar una disposición central con doble brazo, con una distancia promedio entre los postes de alumbrado de 60 metros, de esta visita técnica también se obtuvieron los datos presentados en el cuadro 4.17.

Características civiles de la avenida	
Longitud del tramo	261,53m
Distancia promedio entre postes	60m
Ancho de la calzada	11,41m
Ancho de la zona verde	4m
Altura aprox del poste	14,4m
Longitud del brazo	4,5m
Inclinación de la luminaria	0

Cuadro 4.17: Datos de la vía Perimetral.

A continuación, en la figura 4.16, se presenta la disposición de planta de la vía, con ella se logra obtener una mejor apreciación de los postes de alumbrado.

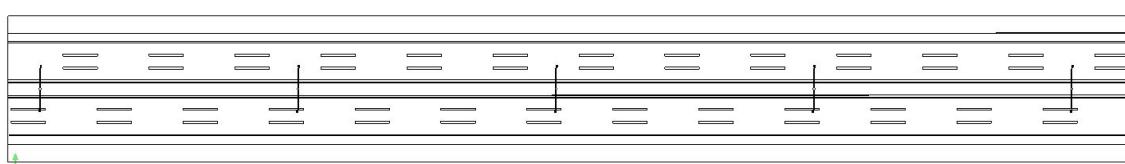


Figura 4.16: Distribución de postes de la vía Perimetral.

Además, se observó la característica de alta velocidad de la vía y un alto tráfico vehicular, por lo cual en el cuadro 2.11 se selecciona el tipo de vía A, que representa

una velocidad de circulación mayor a los 60 km/h, una vez seleccionado el tipo de vía, se aplica la tabla correspondiente al apéndice A, para escoger la situación de proyecto y la clase de alumbrado según el flujo vehicular. Para este caso se ha considerado una situación del tipo A1, y a su vez una clase de alumbrado con un prefijo ME2, dado que el flujo vehicular es poco más de 15000 vehículos por día. Con lo mencionado, y complementando con los datos del cuadro 4.18, se obtienen los aspectos generales de la vía.

Aspectos generales de la avenida	
Tipo de vía (Clasificación)	A
Tipo de pavimento	Asfalto
Número de postes del tramo	8
Intersecciones	3

Cuadro 4.18: Aspectos generales de la vía Perimetral.

El indicador ME2 presenta un valor de luminancia promedio de 1,5 lm según se observa en la tabla 6 del apéndice B, este valor equivale a 22,5 lux, que resulta de multiplicar la cantidad de lúmenes por el factor R del suelo, adquiriendo un valor de 15 cuando éste no se conozca. El indicador ME2 también nos señala el valor de uniformidad media mínima, siendo éste el valor de 0,40, como se muestra en la tabla 6 del apéndice B. En el cuadro 4.19, se describen las características técnicas mínimas que debe tener la citada vía.

Clasificación y requerimiento lumínicos de la vía			
Situación de proyecto	A1	Iluminancia media máxima	22,5 lux
Clase de alumbrado	ME2	Uniformidad media mínima	0,40

Cuadro 4.19: Clase de alumbrado y niveles de iluminación de la vía Perimetral.

Una vez obtenidos los datos de la clasificación y requerimientos lumínicos de la vía, se procede a realizar el estudio luminotécnico.

4.3.2. Estudio luminotécnico de vía perimetral

Para el estudio luminotécnico es necesario conocer las características técnicas de las luminarias instaladas, se utilizaron lámparas marca RIGTIGT LYS de similares

4.3. Caso 3: Iluminación en vía perimetral

características a las colocadas en la vía, cuyas especificaciones técnicas se presentan en el cuadro 4.20.

Características de las luminarias	
Tipo de lámpara	Vapor de sodio
Potencia	200
Flujo (lum)	22900
IP	65
Factor de mantenimiento	0,8

Cuadro 4.20: Características de las luminarias de la vía Perimetral.

Con los datos mencionados con anterioridad, se procedió a realizar la simulación en DIALux donde se consiguió el resultado ilustrado en la figura 4.17, evidenciando una aparente mala disposición de las luminarias al generar el efecto cebra.

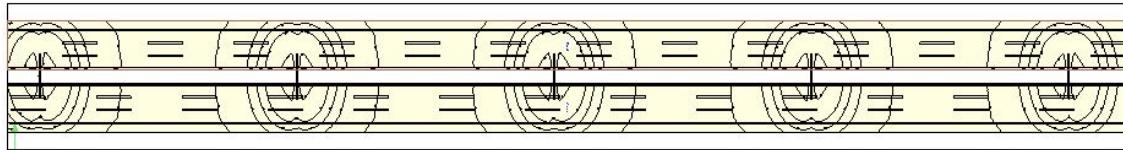


Figura 4.17: Disposición isolux de la vía Perimetral.

Mediante las curvas isolux, se observa la distribución de la iluminancia, si bien se presenta de manera uniforme, con la simulación se verificará si se cumplen los parámetros técnicos necesarios.

A través de la simulación, se obtuvieron los luxes estimados en la vía, los cuales no superan el margen de iluminancia, presentando un valor promedio de 17,5 lm en la vía, cuando se requiere al menos 22,5 lx (ver figura 4.18).

Al no cumplir con las características técnicas necesarias para el tipo de vía, se debe buscar una alternativa viable para llegar a cumplir con los valores establecidos. Se realizó el cambio a unas luminarias LED Shoebox marca SIGNCOMPLEX. En el cuadro 4.21, se presentan las características de las citadas luminarias.

Características de las luminarias	
Tipo de lámpara	LED
Potencia	200
Flujo (lum)	36257
IP	65
Factor de mantenimiento	0,8

Cuadro 4.21: Características de luminarias propuestas de la vía Perimetral.

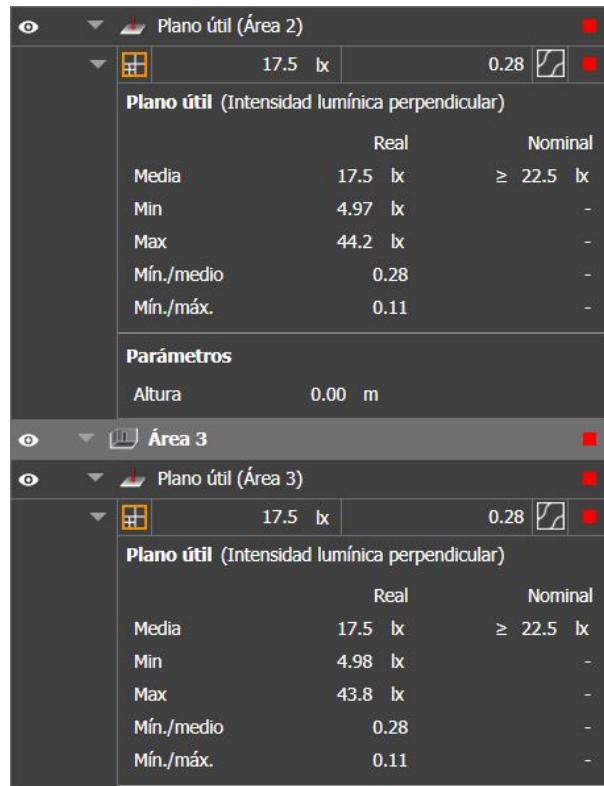


Figura 4.18: Valores de iluminancia de la vía Perimetral.

Una vez realizado el reemplazo de las luminarias de 200 W de vapor de sodio por 200 W LED, se observa en la simulación que se supera el valor de iluminancia media obteniendo un valor de 24,1 lx con el cambio, lo cual indica una correcta opción para la mejora del alumbrado de la vía. En la figura 4.19, se muestra el cumplimiento de los valores de iluminancia con las lámparas LED propuestas.

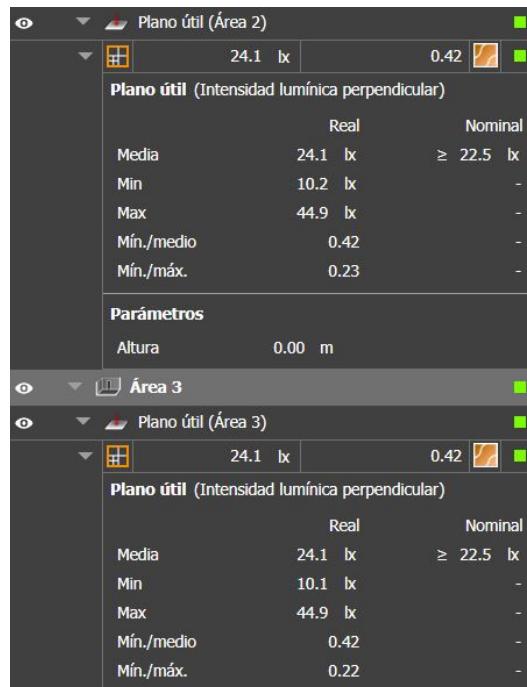


Figura 4.19: Valores de iluminancia mejorada de la vía Perimetral.

4.3. Caso 3: Iluminación en vía perimetral

En el cuadro 4.22, se puede observar la comparación entre la situación actual y la vía con las mejoras propuesta, del cual se desprende una aceptación técnica de la propuesta, la que sobrepasa el umbral mínimo de iluminancia promedio y uniformidad.

	Actual	Propuesto	E medio requerido	Uniformidad requerida
Tecnología	LED	LED		
Potencia (W)	147	200		
E media (lx)	17,5	24,1	22,5	0,40
U. media (U0)	0,28	0,42		

Cuadro 4.22: Comparación entre situación actual y propuesta para la vía Perimetral.

4.3.3. Cálculo de eficiencia energética de la instalación

Dado que se ha cumplido con las características técnicas necesarias para el tipo de vía con la propuesta presentada, se procede a calcular el nivel de eficiencia, para lo cual es necesario contar con variables como la superficie iluminada, iluminancia media y la potencia instalada.

Potencia total instalada (W)	Superficie a iluminar (m ²)	Iluminancia media de la instalación (lx)
1000	2978,82	24,1

Cuadro 4.23: Datos para calcular la eficiencia de la vía Perimetral.

Con la presencia de los datos del cuadro 4.23, se procede como acción siguiente el cálculo de eficiencia energética de la instalación usando la ecuación 2.9. De la misma se obtiene el parámetro de eficiencia energética del cuadro 4.24.

Eficiencia de la instalación	
Eficiencia ϵ	71,78

Cuadro 4.24: Eficiencia energética de la instalación de la vía Perimetral.

Una vez obtenido el valor de la eficiencia en el área de estudio, se verifica si ese valor obtenido cumple con el requisito mínimo según la cantidad de luxes de acuerdo al cuadro 2.8. Como el valor de 24,1 lux no se encuentra en la iluminancia media en servicio del cuadro 2.8, se procedió con una interpolación lineal. El resultado nos brinda el valor $\epsilon = 19,55$ en eficiencia energética mínima, mostrado en el cuadro 4.25.

Eficiencia mínima requerida		
Eficiencia actual	Eficiencia mínima	Cumple
71,78	19,55	SI

Cuadro 4.25: Cumplimiento de la eficiencia requerida de la avenida García Moreno.

Dado que la eficiencia actual instalada (71,78), supera la eficiencia mínima (19,55), se establece el cumplimiento de la eficiencia requerida por la vía (ver cuadro 4.25).

4.3.4. Clasificación energética de la instalación

Se calcula el índice de eficiencia energética, para lo cual se usa la ecuación 2.10 y el cuadro 2.9. Como el valor de 24,1 lux de iluminancia media no se encuentra en el cuadro 2.9, se procederá con el cálculo por interpolación. Entonces para un valor de 24,1 lux se obtendrá una eficiencia energética en referencia $\varepsilon_R = 28,46$.

Se procede a calcular el índice de eficiencia con el valor ε_R encontrado, para lo cual se usa la ecuación 2.10, obteniendo el valor que se presenta a continuación.

$$\text{Indice de eficiencia obtenido } Ie = 2,74$$

Con el índice obtenido, se debe consultar el cuadro 2.10 para apreciar qué rango de calificación energética tiene la instalación, el cual se presenta a continuación.

Calificación energética A

Con el análisis realizado con anterioridad, se logra apreciar que la vía Perimetral, cumpliría con los parámetros técnicos necesarios con la propuesta planteada (LED 200 W) y presentaría una etiqueta de eficiencia energética de categoría A, con lo cual se demuestra que el cambio de luminarias resultaría ser de gran beneficio en esta vía.

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1. Conclusiones

Con el estudio realizado llegamos a contestar varias de nuestras dudas y evidenciamos las siguientes conclusiones.

- Diversas vías en la ciudad de Guayaquil presentan un aparente alumbrado público adecuado, no obstante en la muestra tomada de cuatro vías, se observó que tres no cumplían las condiciones técnicas mínimas según la instrucción técnica ITC EA 02.
- De manera general, se observó que la distancia entre postes es heterogénea en especial en las zonas urbanas (calles secundarias), se considera pertinente reglamentar estos parámetros para potenciar el uso normativo del alumbrado público.
- El uso de nueva tecnología LED mejora notablemente la calidad de iluminación, así mismo la luminaria cuenta con un factor de protección IP alto lo que hace que el mantenimiento sea menos frecuente ahorrando tiempo y costos, además que la hace candidata a la implementación de futuros proyectos como por ejemplo el de telegestión.
- El 75 % de las muestras tomadas, evidencian que al mejorar los parámetros técnicos con la repotenciación de luminarias y/o cambio de ubicación de los postes se llega a obtener una etiqueta de eficiencia energética de alta categoría, quiere decir que es una meta posible de alcanzar.
- Actualmente existe una escasa comunicación entre la municipalidad y la empresa distribuidora, se sugiere romper esta brecha y así tener una mejor cooperación y en conjunto llevar a cabo un adecuado control en lo que respecta a alumbrado público en la ciudad.

5.2. Trabajos futuros

Pensando en alternativas interesantes sobre la línea principal de este proyecto, se presentan los siguientes tópicos que pueden ser desarrolladas en un futuro.

- Estudio técnico-económico de un etiquetado de alta eficiencia en alumbrado público en la ciudad de Guayaquil.
- Estudio técnico de la cargabilidad de las líneas de distribución producto de un alumbrado público de alta eficiencia en la ciudad de Guayaquil.
- Análisis técnico económico del efecto de un plan de telegestión del alumbrado público en la ciudad de Guayaquil.
- Estudio socio-ambiental del impacto que causaría la implementación de luminarias LED de una apariencia de color fría (trabajo de investigación multidisciplinario).

5.3. Cronograma de actividades

En este apartado se presentan las actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto de tesis hasta su culminación, se ilustra detalladamente en el cuadro 5.1.

Actividades realizadas												
	Junio				Julio				Agosto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Planteamiento del tema	■											
Capítulo 1 (Estructura y objetivos)		■	■	■								
Capítulo 2 (Marco teórico)					■	■	■	■				
Capítulo 3 (Metodología)								■	■			
Capítulo 4 (Casos de estudio)									■	■	■	■
Capítulo 5 (Conclusiones y trabajos futuros)										■	■	■

Cuadro 5.1: Cronograma de actividades del proyecto de tesis.

Bibliografía

- Accionamientos, Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y (2017). *Luminotecnia Iluminación de interiores y exteriores*. URL: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/> (visitado 19-08-2019).
- ARCONEL (2018). *Resolución 006/18 para la calidad de la energía eléctrica*.
- Beltrán, Hector (2015). *Eficiencia energética en instalaciones de iluminación*.
- Cataluña, Universiada Politécnica de (2015). *Luminarias*. URL: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-luminarias-componentes.php> (visitado 12-08-2019).
- David, DiLaura y col. (2011). *The Lighting Handbook*. Illuminating Engineering Society.
- Devtech (2018). *Smart Street Light Management System*. URL: <http://devtechm2m.com/smart-street-light-management-system-helps-you-cut-down-energy-bills/> (visitado 07-08-2019).
- Integrated, Maxim (2012). *Powerline Communications for Street Lighting Automation*. URL: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5347> (visitado 07-08-2019).
- McCollough Jr, Norman D (2008). *Photoelectric controller for electric street lighting*. US Patent 7,369,056.
- MEER (2015). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035*.
- MINCOTUR (2008). *Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior*.
- Wu, Yue y col. (2010). "Design of new intelligent street light control system". En: *IEEE ICCA 2010*. IEEE, págs. 1423-1427.
- Zúñiga, Iván Genovez (2015). "Eficiencia Energética en el Servicio de Alumbrado Público". Tesis de mtría. Universidad de Cuenca.

Apéndice A

Clases de alumbrado e iluminación para vías (ITC-02)

Clase de alumbrado para vías tipo A

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de alumbrado
A1	<p>*Carreteras con calzadas separadas y entradas vigiladas (autopistas y autovías)</p> <p>Intensidad de tráfico</p> <p>Alta (IMD) ≥ 25.000</p> <p>Media (IMD) ≥ 15.000 y < 25.000</p> <p>Baja (IMD) < 15.000</p>	ME1 ME2 ME3a
	<p>*Carreteras con calzadas única de doble sentido de circulación y accesos restringidos</p> <p>Intensidad de tráfico</p> <p>Alta (IMD) > 15.000</p> <p>Media y baja (IMD) < 15.000</p>	ME1 ME2
A2	<p>*Carreteras interurbanas sin ningún tipo de separación</p> <p>*Carreteras locales en áreas rurales sin vía de servicio</p> <p>Intensidad de tráfico</p> <p>IMD ≥ 7.000</p> <p>IMD < 7.000</p>	ME1 / ME2 ME3a / ME4a
A3	<p>*Vías colectoras y rondas de circunvalación</p> <p>*Carreteras interurbanas con accesos no limitados</p> <p>*Vías urbanas de tráfico importante, rápidas y de distribución</p> <p>*Vías principales de la ciudad y circulación de peatones</p> <p>Intensidad de tráfico y complejidad de la carretera</p> <p>IMD ≥ 25.000</p> <p>IMD ≥ 15.000 y < 25.000</p> <p>IMD ≥ 7.000 y < 15.000</p> <p>IMD < 7.000</p>	ME1 ME2 ME3b ME4a / ME4b

Clase de alumbrado para vías tipo B

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de alumbrado
B1	<p>*Vías urbanas secundarias de conexión a vías de tráfico importante</p> <p>*Vías distribuidoras locales y acceso a áreas residenciales</p> <p>Intensidad de tráfico</p> <p> IMD \geq 7.000</p> <p> IMD $<$ 7.000</p>	<p>ME2 / ME3ca</p> <p>ME4b /ME5 / ME6</p>
B2	<p>*Carreteras locales en zonas rurales</p> <p>Intensidad de tráfico y complejidad de la carretera</p> <p> IMD \geq 7.000</p> <p> IMD $<$ 7.000</p>	<p>ME2 / ME3b</p> <p>ME4b / ME5</p>

Apéndice B

Niveles de iluminación de las vías (ITC-02)

Series ME de clase de alumbrado para viales secos tipos A y B

Clase de alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento pertubador	Iluminación de alrededores
	Luminancia Media (Lm)	Uniformidad Global (Uo)	Uniformidad Longitudinal (UI)	Incremento Umbral TI(%)	Relación Entorno SR
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

Apéndice C

Preguntas realizadas a CNEL EP-Guayaquil

PARA: SR. Kevin Garcia Y Sr. Julio Chavez, estudiantes ESPOL

DIRECTOR TOPICO: Dr. Xavier Zambrano Aragundy, profesor ESPOL – electricidad.

ASUNTO: Tesis de grado en el tópico de alumbrado público

OBJETIVOS:

- Analizar las Normativas y/o técnicas empleadas para el diseño de circuitos de alumbrado de calles secundarias, avenidas y carreteras (perimetral), las regulaciones actualmente aplicadas.
- Tendencias en el ámbito de la eficiencia energética en la ciudad de Guayaquil.

DESARROLLO:

La operación y el mantenimiento en el sistema de alumbrado público (SAP) es dinámico, y lo que se busca es disminuir los costos de operación y mantenimiento y al mismo tiempo cuidar y proteger el medio ambiente.

PARAMETROS:

1.- ALTURA DE POSTES DE ALUMBRADO (Luminaria).

A julio de 2019 se tienen 132099 luminarias tipo cobra (cerradas) que pertenecen a CNEL-UN-GYE, e iluminan vías vehiculares y peatonales, de los cuales;

- El 95% de las luminarias están instaladas (Universo: 132.099 luminarias) en postes que contienen secundario de distribución eléctrica de CNEL-UN-GYE, de este grupo; el 75% corresponden a postes de 9m de altura, que contienen (47% luminarias de 100W-HPS y 28% luminarias de 150W-HPS). El restante 20% (95%-75%) están instaladas en postes de 11 m de altura que contienen primario de distribución eléctrica (17.01% luminarias de 250W-HPS y 6.46% luminarias de 400W-HPS).
- El restante 5 % (100% - 95%) aproximadamente 7000 las luminarias instaladas (Universo: 132.099 luminarias) en circuitos independientes de alumbrado público (3.08% luminarias de 150W-HPS, 35.86% luminarias de 250W-HPS y 61.05% luminarias 400W-HPS).

Estas luminarias de circuitos independientes están instaladas en postes de 12m, 14m, 15m, y 18 m de altura, que corresponden a las principales avenidas de la ciudad de Guayaquil.

2.- DISTANCIA ENTRE POSTES QUE CONTIENEN LUMINARIAS.

Como es de conocimiento público, la anterior empresa privada EMELEC INC (actual CNEL-UN-GYE), heredo sectores ya construidos sus circuitos eléctricos sin normativa alguna como el

caso de Suburbio Oeste, Guasmo, Mapasingue, Prosperina, etc; para lo cual se tuvo que implementar un programa denominado FERUM para regular gran parte de estos sectores, así mismo; se tienen otros sectores al norte y al sur de la ciudad que fueron construidos con Normas y especificaciones del momento, como es el caso de Las Alboradas, Los Sauces, Los Samanes, Los Guayacanes, Mucho Lote, Las Orquideas, Los Geraneos al Norte, al Sur Los Esteros, Las Acacias, Las Praderas, cdla. 9 de Octubre, Los Almendros, La Saiba, etc.

A continuación se presenta un estimativo de sectores que cumplen la normativa de que las luminarias están en postes distanciados a 40m promedio e instaladas entre 6m a 8 m de altura y generalmente son de 100W-HPS Y 150W-HPS:

A.- sectores con vanos promedios de 40 metros (Ver páginas 60-61-62-63 y 64 del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE-INEN-069):

- En parroquia Febrescordero.....	3.000 postes
- En parroquia Letamendy.....	1.000 postes
- En parroquia Guasmo - Ximena.....	5.000 postes
- En Ccdlas Guayacanes y otras del Norte.....	3.000 postes
- Proyectos Ferum Urbano-Marginal.....	22.000 postes
- Contrato GG-PJ-124-09.....	7.163 postes
TOTAL.....	41.163 Postes

Que representa el 31.16% del Universo total de luminarias tipo cobra del SAP(132.099 luminarias), más 4.982 postes Municipio de Guayaquil, que representa el 3.77%, dando un total de 34,93%(aproximadamente el 35% de postes con luminarias tipo cobra en el SAP))

- Vano promedio : 40 metros.
- Altura promedio de montaje de luminaria (100W-HPS y 150W-HPS): entre 6 y 8 metros.

B.- sectores con vanos de diferentes longitudes metros (Ver páginas 60-61-62-63 y 64 del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE-INEN-069):

El restante 75% de postes (100% - 75%) pertenecen a Distribución Eléctrica de CNEL-UN-GYE, la distancia entre estos postes es variable

3.- ANGULO DE INCLINACION DE LUMINARIAS (ver especificaciones técnicas del MEER)

Las luminarias de 100W-HPS, tienen el ángulo de inclinación que les da el brazo metálico galvanizado porta luminaria, que es de 15 grados. (ver especificaciones ultimas para brazos del MEER).

Para el caso de luminarias de 150, 250 y 400W-HPS, tienen como alternativa la variación del ángulo de hasta 15 grados del brazo metálico porta luminaria, más el ángulo que puede dársele a la lámpara dentro del conjunto óptico, de acuerdo a la necesidad de fotometría a implementar (Ver Especificaciones del MEER).

4.- MARCAS DE LAS LUMINARIAS Y MODELOS DE LAS MISMAS, TAMBIEN LAMPARAS Marcas:

	POTENCIA (JULIO Año 2019)						TOTAL
MARCA	175W-Hg	70W-HPS	100W-HPS	150W-HPS	250W-HPS	400W-HPS	
GENERAL ELECTRIC (%)			10%	3%	4%	34%	
COOPER, AMERICAN ELECTRIC (%)			8%	23%	43%	18%	
PHILLIPS, ROY ALFA (%)			12%	24%	35%	16%	
GPL (%)			65%	30%	15%	28%	
LYNCIS (MARRIOTT)(%)			5%	20%	3%	4%	
Cant. Luminarias	0	0	62638	38121	22716	8624	132099

Marcas Y Lámparas:

	POTENCIA (Año 2019)						LAMPARA
MARCA	175W-Hg	70W-HPS	100W-HPS	150W-HPS	250W-HPS	400W-HPS	FOCO
GENERAL ELECTRIC (%)			10%	3%	4%	34%	G.E.
COOPER, AMERICAN ELECTRIC (%)			8%	23%	43%	18%	
PHILLIPS, ROY ALFA (%)			12%	24%	35%	16%	PHILLIPS
GPL (%)			65%	30%	15%	28%	OSRAM
LYNCIS (MARRIOTT)(%)			5%	20%	3%	4%	EVERLUX PLUS
Cant. Luminarias	0	0	62638	38121	22716	8624	132099

NOTA: Las Lámparas (focos) tienen que ser compatibles con el conjunto eléctrico (balasto, ignitor y capacitor) de las luminarias para que funcionen eficientemente, de acuerdo a lo sugerido por el fabricante de la Lámpara (foco).

5.- POTENCIA DE LAS LUMINARIAS.

CANTIDAD TOTAL DE LUMINARIAS TIPO COBRA ENSAPUNGYE A JUNIO 2019					
DESCRIPCION	CNEL-UN-GYE	MUNICIPIO	PARTICULAR	TOTAL	%
100 SODIO CERRADA	62034	595	9	62638	45,75
125 SODIO CERRADA	672	561		1233	0,90
150 SODIO CERRADA	34760	3359	2	38121	27,84
175 SODIO CERRADA	43	13		56	0,04
250 SODIO CERRADA	22385	330	1	22716	16,59
400 SODIO CERRADA	8529	94	1	8624	6,30
400/250	594			594	0,43
70 SODIO CERRADA	2894	30		2924	2,14
TOTAL TIPO COBRA CNEL-UN-GYE	131911	4982	13	136906	100,00

NOTA: Las luminarias de 100W-HPS, 150W-HPS, 250W-HPS Y 400W-HPS, son las que se utilizan en las vías públicas, el resto se utiliza en peatonales.

LUMINARIAS TIPO COBRA EN EL SAPG-GYE, AL AÑO 2019						
Tipo de Luminaria	Descripción	Universo	Total Lum	% por Potencia	% Total Ref. Universo	Observaciones
LED	De 0 a 277V	1471	129	8,77	1,07	100W
			615	41,81		150W
			236	16,04		180W
			28	1,90		212W
			239	16,25		250W
			46	3,13		40W
			154	10,47		400W
			19	1,29		500W
			1	0,07		70W
100 W, Na	120 V	55.793	62.638	89,07	46,90	
	240 V	6.490		10,36		
	Sin Conexión	355		0,37		No están conectadas
150 W, Na	120 V	10.638	38.121	27,91	28,54	
	240 V	27.254		71,49		
	Sin Conexión	229		0,60		No están conectadas
250 W, Na	120 V	557	22.716	2,45	17,01	
	240 V	22.149		97,50		
	Sin Conexión	10		0,04		No están conectadas
400 W, Na	120 V	129	8.624	1,50	6,46	
	240 V	8.495		98,50		
	Sin Conexión	0		0		No están conectadas
Universo Total		133.570				

NOTA: INCLUYE LOS LED Y NO INCLUYE LUMINARIAS DE 70W-HPS

NOTA: CNEL-UN-GYE (antes EMELEC INC), es una empresa que antes se manejaba con Normas Americanas debido a que sus antiguos dueños eran Norteamericanos, por esta razón; en el cuadro de potencia de luminarias, en las luminarias de 100W-HPS y 150W-HPS, el voltaje predominante es 120V AC. En el resto de empresas eléctricas (Unidades de Negocios de CNEL).